

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**USO DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO NA
REVEGETAÇÃO DE UM SOLO DECAPITADO**

ALEXANDRO BATISTA RICCI

CAMPINAS
OUTUBRO DE 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**USO DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO NA
REVEGETAÇÃO DE UM SOLO DECAPITADO**

Tese submetida à banca examinadora para
obtenção do título de Doutor em Engenharia
Agrícola na área de concentração em água e
solo.

ALEXANDRO BATISTA RICCI

Orientador: Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula Júnior

CAMPINAS
OUTUBRO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

R359u Ricci, Alexandro Batista
Uso de lodo de esgoto estabilizado na revegetação de
um solo decapitado / Alexandro Batista Ricci. --
Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Durval Rodrigues de Paula Júnior.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Lodo de esgoto. 2. Reflorestamento. 3. Resíduos.
4. Degradação ambiental. I. Paula Júnior, Durval
Rodrigues. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Use of stabilized sewage sludge in revegetation of a
decapitated soil

Palavras-chave em Inglês: Sewage sludge, Reforestation, Environmental
degradation, wastes

Área de concentração: Água e solo

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Wagner Bettioli, Ronaldo Severiano Berton, Carlos
Roberto Espíndola, Bruno Coraucci Filho

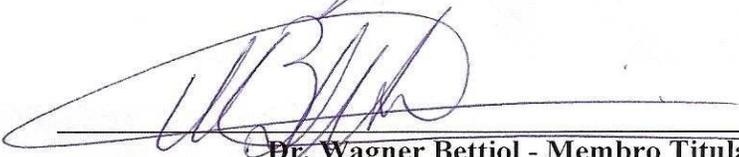
Data da defesa: 11/12/2008

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

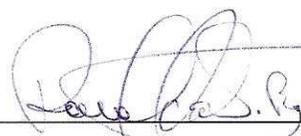
Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Alexandre Batista Ricci**, aprovada pela Comissão Julgadora em 11 de dezembro de 2008, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



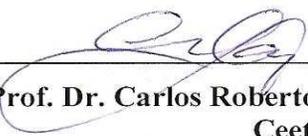
**Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula Junior – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp**



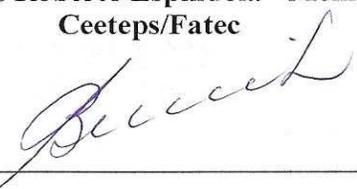
**Dr. Wagner Bettiol - Membro Titular
Embrapa/CNPMA**



**Prof. Dr. Ronaldo Severiano Berton - Membro Titular
IAC**



**Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola - Membro Titular
Ceeteps/Fatec**



**Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho - Membro Titular
FEC/Unicamp**

Caro Zepa...

*“Não sei por que você se foi
quantas saudades eu senti”*

Pois...

*“quem cantava chorou
ao ver seu amigo partir”*

Mas...

*“seja o que vier, venha o que vier.
qualquer dia amigo eu volto a te encontrar,
qualquer dia amigo a gente vai se encontrar”*

Afinal...

*“são dois lados da mesma viagem
o trem que chega
é o mesmo trem da partida..”.*

Ao amigo eterno

José Paulo Manzini (*in memoriam*)

Ofereço e Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Durval Rodrigues de Paula Jr, pela orientação e profissionalismo, fatores primordiais para realização deste trabalho;

Aos meus pais (*in memoriam*), pela herança que resiste ao tempo e as intempéries da vida;

À minha esposa Patrícia e aos meus filhos Rodolfo, Vinícius e Ana Laura, pela compreensão e paciência nas ausências, humores instáveis e tantas outras coisas;

Aos meus irmãos Neusa, Walter e Miro pelo apoio incondicional;

Aos meus amigos Vera e Luciano que muito participaram e ajudaram na execução desta tese;

Aos meus colegas e amigos da SAAMA, FMPFM, casa da agricultura e DEPRN; pelo apoio e ajuda sem os quais dificilmente concluiria este trabalho;

À FMPFM (Faculdade Municipal Prof. “Franco Montoro”) e SAMAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), órgãos municipais guaquanos, que permitiram o desenvolvimento da pesquisa;

Aos funcionários do laboratório de solos da UNICAMP, Júnior e Célia; pela ajuda na execução das análises físicas do solo;

Aos pesquisadores do Instituto Agronômico de Campinas pelo apoio no planejamento e análise do experimento;

A todos que de alguma forma contribuíram para execução deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS	xviii
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. A degradação do Solo	5
3.2. A revegetação	6
3.2.1. Principais métodos utilizados na recomposição da cobertura vegetal	8
3.2.1.1. Regeneração natural	8
3.2.1.2. Enriquecimento de florestas secundárias	8
3.2.1.3. Plantios heterogêneos em modelos sucessionais	10
3.3. O uso de matéria orgânica em revegetação de áreas degradadas	10
3.4. O lodo de esgoto	13
3.4.1. Metais pesados	14
3.4.2. Organismos patogênicos	17
3.5. Sobrevivência de microrganismos patogênicos provenientes de lodo de esgoto em solos.	21
3.6. Uso de lodo do esgoto e as propriedades do solo	23
3.6.1. Uso do lodo de esgoto e as propriedades físicas do solo	23
3.6.2. Uso do lodo de esgoto e as propriedades químicas do solo	26
3.7. A compostagem	31
3.7.1. Aeração	34
3.7.2. Temperatura	34
3.7.3. Umidade	34

3.7.4. Relação entre carbono e nitrogênio (C/N)	35
3.7.5. Granulometria	35
3.7.6. Potencial hidrogênico – Ph	36
3.7.7. Resíduos estruturantes	36
3.7.8. Sistemas de compostagem	36
4. MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1. Caracterização da área de estudo	38
4.2. Caracterização dos resíduos	42
4.2.1. Lodo de esgoto	42
4.2.1.1. Caracterização química e agrônômica do lodo de esgoto	43
4.2.1.2. Análises microbiológica e parasitológica	43
4.2.2. Resíduos de roçagem	44
4.3. Processo de compostagem	44
4.4. Instalação do experimento	45
4.4.1. Preparo da área e aplicação do composto	45
4.4.2. Plantio das árvores	47
4.5. Amostragem do solo	51
4.6. Métodos analíticos	51
4.6.1. Análise do composto	51
4.6.2. Granulometria do solo	52
4.6.3. Porosidade e densidade do solo	52
4.6.4. Distribuição e estabilidade dos agregados	52
4.6.5. Condutividade elétrica do solo	52
4.6.6. Complexo sortivo do solo	53
4.6.7. Nitrato	53
4.7. Avaliação do desenvolvimento das árvores	53
4.7.1. Altura média	53
4.7.2. Diâmetro médio	54
4.7.3. Índice de cobertura das copas	54
4.8. Delineamento estatístico	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56

5.1. Lodo de Esgoto	56
5.1.1. Caracterização Agronômica	56
5.1.2. Caracterização química	56
5.1.3. Caracterização microbiológica	57
5.1.4. Caracterização parasitológica	58
5.2. Caracterização do Resíduo Estruturante	59
5.3. Compostagem	60
5.3.1. Temperatura	60
5.4. Composto de lodo de esgoto e resíduos de roçagens (COLE)	61
5.4.1. Caracterização agronômica do COLE	61
5.4.2. Caracterização Química do COLE	62
5.4.3. Caracterização microbiológica do COLE	64
5.4.4. Caracterização parasitológica do COLE	64
5.5. Granulometria do solo	66
5.6. Densidade do solo	66
5.7. Porosidade do solo	68
5.8. Distribuição e estabilidade dos agregados	74
5.9. Condutividade elétrica	75
5.10. Complexo sortivo do solo	76
5.11. Nitrato	88
5.12. Avaliação do Desenvolvimento das Árvores	91
6. CONCLUSÕES	95
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1 – Características de espécies florestais brasileiras em função do estágio sucessional.	9
Quadro 2 – Principais metais pesados encontrados nos lodos de esgoto e sua origem.	14
Quadro 3 – Agentes patogênicos comumente encontrados em lodos de esgoto e as doenças e sintomas causados.	17
Quadro 4 – Tempo de exposição e temperaturas necessárias para eliminação térmica de patógenos.	20
Quadro 5 - Tempo de sobrevivência dos grupos de patógenos no solo e na planta.	22
Quadro 6 – Descrição do perfil do Latossolo Vermelho-Amarelo localizado na área experimental em Mogi Guaçu– SP.	41
Quadro 7 – Espécies florestais utilizadas e produzidas no Viveiro de produção de mudas da FMPFM e seus respectivos estágios sucessionais.	50

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Esquema da evolução do solo ao longo do tempo	4
Figura 2 – Vista geral do local de implantação do experimento.	38
Figura 3 – Precipitação pluviométrica e temperaturas médias registradas em Mogi Guaçu no período de janeiro de 2005 a julho de 2008 e os períodos de amostragens.	39
Figura 4 – Vista do local de remoção da camada superficial do solo e vegetação existente.	40
Figura 5 – Vista do perfil do solo em trincheira da área experimental.	41
Figura 6 – Vista geral da estação de tratamento de esgoto (A), detalhe do filtro-prensa (B) e tanque-batedor (C), Distrito de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu– SP.	42
Figura 7 – Detalhe da mistura de lodo de esgoto com o resíduo estruturante (A), área de armazenamento de resíduos de roçagens (B), pá-carregadeira utilizada para revolvimento das leiras de compostagem (C) e leiras de compostagem no aterro municipal de Mogi Guaçu– SP em agosto de 2004 (D).	45
Figura 8 – Operação de subsolagem do solo na área experimental, mostrando sua estrutura compactada.	46
Figura 9 – Aplicações de composto de lodo de esgoto nas parcelas em ago/2005 (A), set/2005 (B) e out/2005 (C), incorporação com grade realizada após cada aplicação (D), Mogi Guaçu– SP.	47
Figura 10– Plantio das mudas na área experimental em dezembro de 2005, Mogi Guaçu– SP.	48
Figura 11 – Esquema de plantio heterogêneo utilizado, proposto por MACEDO (1993), utilizando espécies pioneiras (PI) e não-pioneiras (NP).	49
Figura 12 – Esquema de distribuição dos quatro tratamentos e quatro repetições dentro dos quatro blocos.	55
Figura 13 – Esquema de uma parcela, delimitando o espaçamento de plantio, as bordaduras e as espécies utilizadas (NP = Não pioneira P = Pioneira).	55
Figura 14 – Variação média da temperatura das leiras durante o processo de compostagem de lodo de esgoto e resíduos de roçagens, realizados em Mogi Guaçu-SP (2005).	61

	Página
Figura 15 – Figura 15 – Análise de regressão para macroposidade do solo em função das doses crescentes de composto de lodo de esgoto, na camada de 0-0,20m (** = significativo a 1%).	70
Figura 16 – Médias da microposidade do solo, na camada de 0,20-0,40m e análise da regressão em função das diferentes doses de composto de lodo de esgoto (** = significativo a 1%).	73
Figura 17 – pH do solo, na camada de 0 – 0,20m após a aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto (** = significativo).	78
Figura 18 – Análise de regressão do teor médio de fósforo do solo, na camada de 0 - 0,20m, após aplicações de diferentes doses de composto de lodo de esgoto em função das épocas de amostragens (** = significativo a 1%; ns = não significativo).	80
Figura 19 – Análise de regressão do teor de potássio do solo, na camada de 0 – 0,20m, após diferentes doses de aplicação de composto de lodo de esgoto, em função da época de amostragem (** = significativo a 1%; ns = não significativo).	83
Figura 20 – Teor de potássio e magnésio do solo, na camada de 0 – 0,20m, após diferentes doses de aplicação de composto de lodo de esgoto (** = significativo a 1%).	84
Figura 21 – Soma das bases (SB) e índice de saturação por bases (V) do solo que recebeu diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto (camada de 0-0,20m) (** = significativo a 1%).	86
Figura 22 – Teor de manganês do solo, na camada de 0 – 0,20m, após a aplicação das diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto nos três períodos de amostragem (** = significativo a 1%; ns = não significativo).	88
Figura 23 – Teor de ferro do solo, na camada de 0 – 0,20m, após a aplicação das diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto nos três períodos de amostragem (** = significativo a 1%).	89
Figura 24 – Teor de ferro do solo, na camada de 0,20–0,40m, após a aplicação das diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto nos três períodos de amostragem (** = significativo a 1%).	89
Figura 25 – Índice de mortalidade no reflorestamento, em função da dosagem de composto de lodo de esgoto e do período de amostragem.	91

Figura 26 – Vista geral das parcelas que receberam composto de lodo de esgoto e revegetadas com espécies nativas, em três períodos distintos, no município de Mogi Guaçu – SP.

93

|

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 – Valores-limite de metais pesados para aplicação de lodo de esgoto no solo.	16
Tabela 2 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado pela presença de agentes patogênicos.	18
Tabela 3 – Faixas de temperaturas máximas, mínimas e ótimas para o desenvolvimento de dois grupos de bactérias, no processo de compostagem.	33
Tabela 4 – Granulometria média do solo da área experimental, antes do preparo, em duas profundidades.	39
Tabela 5 – Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade da área experimental antes do preparo, em duas profundidades.	40
Tabela 6 – Dosagens de composto de lodo de esgoto, utilizadas nos tratamentos, parceladas em três vezes.	46
Tabela 7 - Caracterização agrônômica do lodo de esgoto gerado na ETE – Martinho Prado Júnior – Mogi Guaçu– SP, 2004.	56
Tabela 8 – Concentração de metais pesados no lodo de esgoto da ETE de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu – SP (2004), em comparação com a concentração máxima permitida pelo CONAMA (2006).	57
Tabela 9 – Resultados da análise microbiológica para detecção de bactérias patogênicas no lodo do distrito de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu – SP, em 2004.	58
Tabela 10 – Resultados da análise parasitológica para detecção de ovos de helmintos e protozoários no lodo do distrito de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu– SP, em 2004.	54
Tabela 11 – Caracterização agrônômica dos resíduos de roçagens de áreas verdes do município de Mogi Guaçu– SP, no ano de 2004.	59
Tabela 12 – Relação entre o teor de nitrogênio e carbono dos resíduos utilizados no processo de compostagem em Mogi Guaçu– SP, (2004).	60
Tabela 13 - Caracterização agrônômica do composto de lodo de esgoto e resíduos de roçagens, produzido no município de Mogi Guaçu– SP no ano de 2004.	62
Tabela 14 - Caracterização química do composto de lodo de esgoto e resíduos de roçagens, produzido no município de Mogi Guaçu– SP no ano de 2004.	63

	Página
Tabela 15 – Quantidade de metais pesados adicionados ao solo pelas diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto, em comparação aos teores máximos preconizados pela resolução CONAMA (2006).	64
Tabela 16 – Resultados da análise microbiológica para detecção de bactérias patogênicas no composto de lodo de esgoto do distrito de Martinho Prado Júnior. Mogi Guaçu- SP em 2004.	65
Tabela 17 - Resultados da análise parasitológica para detecção de ovos de helmintos e protozoários no composto de lodo de esgoto do distrito de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu– SP, em 2004.	65
Tabela 18 – Granulometria do solo das parcelas experimentais, em duas profundidades, após a aplicação do composto de lodo de esgoto em Mogi Guaçu-SP, 2005.	66
Tabela 19 - Densidade do solo nas profundidades de 0-0,20m e 0,20-0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.	67
Tabela 20 - Porosidade total, macroporosidade e microporosidade na profundidade de 0-0,20m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.	69
Tabela 21 - Porosidade total, macroporosidade e microporosidade , na profundidade de 0,20-0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.	72
Tabela 22– Relação entre a macroporosidade e microporosidade do solo em função de diferentes dosagens de aplicação de composto de lodo de esgoto durante dois anos.	73
Tabela 23 - Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.	74
Tabela 24 – Valores de condutividade elétrica do solo estudado, após a aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto em épocas distintas.	75
Tabela 25 - Teor de matéria orgânica, pH e fósforo do solo na profundidade de 0-0,20m e 0,20 – 0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas após revetação.	77

	Página
Tabela 26 - Teor de potássio, cálcio e magnésio do solo na profundidade de 0-0,20m e 0,20 – 0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.	81
Tabela 27 – Acidez potencial (H + Al), soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e índice de saturação por bases (V) do solo de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, em duas profundidades, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto, analisado em três épocas distintas após revegetação.	85
Tabela 28 – Teores de boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn) nas profundidades de 0-0,20m e 0,20 – 0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas após revegetação.	87
Tabela 29 – Teor de N-NO ₃ (mg.kg ⁻¹) na camada de 0,020-0,40m do solo , na base seca, das parcelas que receberam diferentes doses de composto de lodo de esgoto, logo após o plantio das árvores.	90
Tabela 30 - Índice de cobertura da copa (ICC), altura e diâmetro do caule das árvores implantadas em solo sob diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto mensuradas em três períodos distintos.	92
Tabela 31 - Índice de cobertura da copa (ICC), altura e diâmetro do caule das árvores pioneiras e não pioneiras implantadas em solo sob diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto mensuradas em três períodos distintos.	94

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
B	Boro
C	Carbono
C/N	Relação carbono-nitrogênio
Ca	Cálcio
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
Cd	Cádmio
cm ³	Centímetro cúbico
CO ₂	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
cv	Cavalo-vapor
dm ³	Decímetro cúbico
ds	Decisiemens
Fe	Ferro
g	Grama
H + Al	Acidez potencial
ha	Hectare
Hg	Mercúrio
K	Potássio
kg	Kilograma
km	Quilómetro
l	Litro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mg	Miligrama
Mg	Mega grama

Mg	Magnésio
mm	Milímetro
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Ni	Níquel
N-NO ₃	Nitrogênio como nitrato
°C	Graus celsius
P	Fósforo
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
R	“Red”
S	Enxofre
Se	Selênio
SO ₄ ⁻²	Íon sulfato
t	Tonelada
UTM	Unidades transversas de mercator
V%	Índice de saturação por bases
Y	“Yellow”
Zn	Zinco

LISTA DE ABREVIATURAS

C	Climáticas
CE	Condutividade elétrica
CEPPA	Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos
CFR	“Code of Federal Regulations”
COLE	Composto de lodo de esgoto
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTC	Capacidade de troca catiônica
DMP	Diâmetro médio ponderado
EPA	“Environment Protection Agency”
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FEAGRI	Faculdade de Engenharia Agrícola
FMPFM	Faculdade Municipal Professor “Franco Montoro”
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
ICC	Índice de cobertura das copas
ICP-AES	“Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry”
LAB	Lodo ativado por batelada
NMP	Número mais provável
NP	Não-pioneiras
PI	Pioneiras
PR	Paraná
PS	Peso seco
S1	Secundárias iniciais
S2	Secundárias tardias
SAAMA	Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Meio Ambiente
SAMAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SB	Soma das bases
SP	São Paulo

ST	Sólidos totais
TFSA	Terra fina seca ao ar
U.S.	United States
UFF	Unidades formadoras de focos
UFP	Unidades formadoras de placas
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

Uma das conseqüências do crescimento da população urbana foi o surgimento de diversos problemas ambientais nos centros urbanos brasileiros, sendo a deterioração dos recursos hídricos e a degradação dos solos, ocasionadas pela disposição inadequada dos diversos tipos de resíduos gerados pelas cidades, as principais. Com o objetivo de avaliar o uso de um lodo de esgoto compostado com resíduos de roçagem de gramíneas do município de Mogi Guaçu – SP, na recuperação de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, utilizaram-se quatro dosagens do composto produzido (0, 20, 40 e 80Mg.ha⁻¹), aplicadas de forma parcelada antes do plantio das árvores de espécies nativas. Os efeitos foram avaliados nos atributos químicos e físicos do solo, bem como nos parâmetros biométricos das espécies arbóreas utilizadas no reflorestamento. Os resultados permitiram concluir que o lodo de esgoto compostado apresentou características para atender a legislação vigente. O composto não modificou significativamente os atributos físicos analisados no solo do local, bem como o seu teor de carbono orgânico, sendo que apenas a dosagem de 80Mg.ha⁻¹ promoveu um aumento do teor de fósforo, cálcio, magnésio, potássio, manganês, ferro e pH do solo, afetando positivamente sua fertilidade. O desenvolvimento da composição do reflorestamento escolhido não sofreu influência das dosagens crescentes do lodo de esgoto compostado no solo decapitado, sendo que os grupos sucessionais estudados (pioneiras e não-pioneiras) mostraram comportamentos semelhantes. O uso do composto mostrou-se uma alternativa sustentavelmente viável para o município de Mogi Guaçu, no que se refere à disposição de resíduos, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

PALAVRAS CHAVES: Lodo de esgoto, Reflorestamento, Resíduos e Degradação ambiental.

ABSTRACT

One of the consequences of urban population growth was the emergence of various environmental problems in the most of urban cities in Brazil, mainly the deterioration of water resources and land degradation caused by inadequate disposal of various types of waste generated by cities. In order to evaluate the use of sewage sludge composted with waste of grass of the city of Mogi Guaçu - SP, in the revegetation of a Red-Yellow Latosol decapitated, were used four doses of the compound produced (0, 20, 40 and 80Mg.ha⁻¹), applied in a split way before planting trees of native species. For observation of the effects, in addition to chemical and pathological features of the composting, were evaluated over two years some chemical and physical attributes of soil, but also biometric parameters of tree species used for reforestation. The results showed that the process of composting done proved to be viable for disposal of waste studied in soil, since the existing law and attended did not affect adversely the area, regarding the increase in electrical conductivity and nitrate leaching in soil. The doses of the composting did not change significantly the physical parameters examined in the soil of the place and its organic carbon content, and only the strength of 80Mg.ha⁻¹ promoted an increase in the level of phosphorus, calcium, magnesium, potassium, manganese, iron and soil pH, positively affecting their fertility. The chosen development of the composition of reforestation was not influenced by the increasing of doses of composted sewage sludge on soil decapitated, and the successional studied groups (pioneer and non-pioneer) showed similar behavior. The use of the compound was shown to be a sustainably viable alternative for the city of Mogi Guaçu as regards the disposal of waste, reforestation and restoration of degraded areas.

KEY WORDS: Sewage sludge, Reforestation, Environmental degradation, wastes.

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais transformações ocorridas no mundo nos últimos 100 anos foi o aumento da população urbana. Pela primeira vez na história, mais de 50% da população mundial vive em cidades, que concentram também a maior parte da produção industrial. O fenômeno do êxodo rural em direção às cidades afetou sensivelmente os países subdesenvolvidos. Atualmente, 80% da população brasileira vivem em cidades com mais de 20.000 habitantes e uma das conseqüências desta concentração populacional foi o surgimento de diversos problemas ambientais nos centros urbanos brasileiros.

Entre os diversos prejuízos causados ao ambiente, pela urbanização desordenada, pode-se citar a deterioração dos recursos hídricos e a degradação dos solos, ocasionadas em parte pela disposição inadequada dos diversos resíduos gerados pelas cidades.

As exigências crescentes da sociedade e das agências ambientais por melhores padrões de qualidade ambiental têm se refletido nos gestores públicos e privados dos serviços de saneamento. Devido aos baixos índices de tratamento de esgotos, ainda verificados no país, há uma perspectiva de aumento significativo no número de estações de tratamento de esgotos e, em decorrência, a produção de lodo de esgoto.

Embora o lodo represente apenas uma pequena parte do volume de esgoto tratado, o seu gerenciamento é bastante complexo e tem um custo alto em uma estação de tratamento de esgoto.

O tratamento do lodo das estações de tratamento de esgotos vem ganhando cada vez mais expressão, devido principalmente à necessidade de se atender às exigências ambientais no que se refere a sua instabilidade biológica, péssima qualidade higiênica e ao próprio condicionamento para reciclagem (MIKI et al., 2001).

A disposição do lodo de esgoto, estabilizado e tratado, em solos tem se mostrado uma alternativa viável, uma vez que pode ser feita com baixo custo e sem provocar impactos negativos, desde que realizada dentro de critérios seguros. Os impactos ambientais provocados podem ser positivos na medida em que o teor de matéria orgânica do solo é aumentado, melhorando sua resistência à erosão e diminuindo a necessidade de fertilizantes minerais, o que significa economia de energia e conservação dos recursos naturais (ANDREOLI et al., 1999). Porém, a aplicação do lodo no solo não é um processo simples, dado a grande variação

na sua composição e a complexidade dos diferentes tipos de solo. Estudos que indicam o efeito da disposição deste resíduo no solo, nos diferentes componentes do sistema solo-planta-água, são ferramentas importantes para o uso sustentável, permitindo a minimização dos impactos negativos ao ambiente.

Um dos principais desafios que se coloca nos dias atuais é que as cidades criem as condições para assegurar uma qualidade de vida que possa ser considerada aceitável, não interferindo negativamente no ambiente e agindo preventivamente para evitar a continuidade do nível de degradação, notadamente nas regiões habitadas pelos setores mais carentes.

Dentro deste contexto foi desenvolvido esse trabalho no âmbito do município de Mogi Guaçu – SP envolvendo o uso de lodo de esgoto produzido neste município, para a recuperação de área degradada e revegetação com espécies florestais.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

Avaliar o potencial do composto orgânico de lodo de esgoto na recuperação de um solo decapitado, por meio da revegetação com espécies nativas.

Objetivos específicos:

- Avaliar a compostagem de lodo de esgoto com resíduos de roçagem de gramíneas, pelo processo de leiras revolvidas;
- Avaliar a influência de dosagens de aplicação de lodo de esgoto estabilizado nos atributos físicos e químicos de um solo decapitado;
- Avaliar o desenvolvimento de espécies de árvores nativas cultivadas em solo decapitado, após a aplicação de lodo de esgoto estabilizado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, a grande biodiversidade da fauna e flora está estreitamente ligada às propriedades dos seus 247 tipos de solos existentes. A manutenção desta valiosa biodiversidade está associada à manutenção da qualidade dos solos (MELFI e MONTES, 2001).

A noção do solo como um corpo vivo, em constante evolução, pode ser verificada naturalmente ao longo do tempo e esta ilustrada na Figura 1. O solo formado a partir de um determinado tipo de rocha ou sedimento, sob a ação do clima, vegetação, relevo, organismos, passa por diferentes fases de evolução. Na fase jovem, o solo apresenta características próximas às da rocha que lhe deu origem, podendo apresentar um alto potencial de fertilidade, devido à grande quantidade de elementos nutrientes contidos nos minerais que constituem a rocha ou sedimento. Já em uma fase madura, tem o máximo de desenvolvimento de seu complexo adsorvente. Nesta fase, o solo encontra-se em equilíbrio com a biosfera.

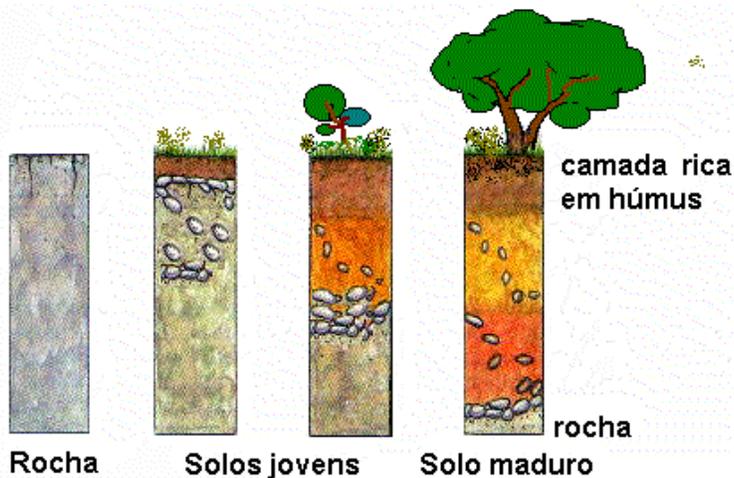


Figura 1 - Esquema da evolução do solo ao longo do tempo.

A camada superficial do solo (0 – 0,20/0,30m) abriga uma infinidade de seres vivos, micro e macroscópicos, e conseqüentemente um alto teor de carbono, o qual forma junto com as argilas e outros minerais, o plasma argilo-húmico, fração ativa do solo e responsável pela definição de suas características físico-químicas.

Entende-se por matéria orgânica todos os materiais de origem vegetal ou animal que se encontram no solo, independentemente de seu estado de decomposição. São fornecedores de matéria orgânica aos solos as partes vegetais, os corpos de vermes e outros animais, bem como os produtos diversos de origem animal ou vegetal adicionados ao solo pelo homem, como o esterco, as tortas, os adubos verdes, etc. A matéria orgânica fresca no solo passa por transformações, tornando-se decomposto, assumindo uma fração coloidal. A este material dá-se o nome de húmus e neste estado de decomposição não se pode mais reconhecer na matéria orgânica a origem do material.

Esta camada inicial do solo, formada pela interação de constituintes orgânicos e minerais, representa a fertilidade do solo, prontamente disponível à vida vegetal ou animal.

3.1. A degradação do solo

Qualquer processo que provoque a remoção da camada superficial do solo, expondo camadas mais inferiores, pode ser considerado um processo de degradação do solo. Com isso surge uma situação de baixa fertilidade em função das características do subsolo exposto, inibindo o crescimento vegetal e animal, levando uma condição de solo decapitado.

Uma das principais características de solos subsuperficiais é a ausência da matéria orgânica e conseqüentemente do plasma argilo-húmico, que fornece ao solo características físico-químicas que possibilitam a manutenção da vida e com isso a reciclagem natural da matéria orgânica no solo.

Segundo JESUS (1994), um ecossistema degradado é aquele que, após distúrbios, teve eliminado, juntamente com a vegetação, os seus meios de regeneração bióticos, como o banco de sementes, banco de plântulas, chuvas de sementes e rebrota, apresentando dificuldade de retornar ao seu estado original. Já o ecossistema perturbado é aquele que sofreu distúrbios, mas manteve os meios de regeneração bióticos: a ação humana não é obrigatória, mas auxilia na sua recuperação, sendo possível à natureza regenerar-se sozinha. Nos solos degradados, a ação antrópica para a recuperação é necessária, pois eles não dispõem de mecanismos de regeneração.

Um solo degradado pela destruição ou remoção das camadas superficiais tem o ciclo natural da matéria orgânica interrompido, dado ao precário desenvolvimento dos vegetais.

Solos degradados apresentam pouca capacidade de produzir e manter outros recursos renováveis (florestas, alimentos, populações, etc.), além de afetarem a qualidade da água e até o valor nutritivo dos alimentos. O restabelecimento deste ciclo natural demanda muitos anos, deixando o solo exposto a diversos fatores, muitos deles não naturais, os quais agravam a situação de degradação. A regeneração natural do solo é um processo muito lento que pode levar séculos. Entretanto dependendo do grau de interferência no seu equilíbrio, pode-se ter danos irreversíveis, uma vez que o solo é considerado um recurso não renovável.

A interação da argila e do húmus promove a formação de agregados no solo, fornecendo condições ideais de macro e microporosidade, ou seja, estruturação adequada. Com isso temos taxas desejáveis de infiltração da água e, conseqüentemente, proteção contra processos erosivos.

Intervenções que causam uma diminuição no teor da matéria orgânica das camadas iniciais do solo, também podem ser consideradas como processos degradantes do solo. Formas de manejo do solo que não promovam a reposição da matéria orgânica, tornam a camada superficial susceptível a processos erosivos (TSUTIYA, 2001).

Outras características físicas e químicas podem ser alteradas pela sua degradação, como a densidade, a granulometria, capacidade de retenção de água, capacidade de troca catiônica e pH, entre outras.

Degradação, segundo o manual de Diretrizes para recuperação de áreas degradadas (IBAMA, 1990), ocorre "... quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo perdida, removida ou enterrada e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, juntamente com a invisibilização sócio-econômica da área".

3.2. A revegetação

A revegetação é a prática principal para se obter a formação de um novo solo, controlar a erosão, evitar a poluição das águas e em certos casos promover o retorno da fauna original (BRASIL, 1990).

A recuperação de solos pode ser obtida pela cobertura vegetal com espécies que tenham facilidade de restabelecimento, rápido desenvolvimento, agressividade suficiente para

controlar invasoras e que melhorem as condições físicas e a fertilidade do solo. No entanto, todas as características desejáveis para uma planta recuperadora geralmente não se encontram em uma única espécie (LUCHESE et al., 1992) e também depende de outros fatores, como histórico do uso do solo, grau de isolamento das espécies e avaliação dos projetos de restauração, os quais permitirão a perpetuação das espécies (SORREANO, 2002).

Diferentes enfoques são considerados para o estabelecimento de modelos para implantação de florestas mistas com espécies nativas, visando à recuperação de áreas degradadas (KAGEYAMA et al., 1992). Segundo estes autores, a sucessão secundária é o mecanismo pelo qual as florestas tropicais se auto-regeneram por meio da cicatrização de locais perturbados (clareiras) ocasionados pela morte natural ou acidental das árvores. Estas clareiras são ocupadas por diferentes grupos ecológicos de espécies arbóreas, adaptadas para se regenerarem em aberturas de tamanhos diferentes.

De acordo com BARBOSA (2003), os modelos atuais de reflorestamentos baseiam-se na dinâmica de uma floresta tropical, isto é, o processo pelo qual as espécies se regeneram e se desenvolvem após a queda natural de árvores com formação de clareiras que, seqüencialmente, vão sendo ocupadas por novos indivíduos de diferentes espécies. A variação das clareiras no espaço e no tempo acaba por formar um mosaico de diferentes estágios sucessionais. A luz tem sido considerada o fator com maior influência na colonização destas clareiras. A resposta é adotada como o principal critério na classificação ecológica a que pertencem (pioneiras, secundárias e climáticas).

Algumas espécies são tolerantes à sombra e têm crescimento inibido quando a luminosidade é intensa. Outras espécies se adaptam à plena luz e um terceiro grupo somente exige luz em um determinado estágio do seu ciclo de vida. As situações diversas dos microclimas criados em função das diferentes formas e tamanhos das clareiras possibilitam o estabelecimento de grupos de espécies com características distintas.

Desta forma, tem-se recomendado que a dinâmica de uma floresta natural seja o “modelo básico” a ser seguido na revegetação ou nos reflorestamentos induzidos, orientando a forma de associação das espécies em plantios heterogêneos.

O Quadro 1 apresenta algumas características de espécies florestais nativas do Brasil, que compõem os estágios que devem ser considerados em modelos de recuperação vegetal baseados na sucessão secundária.

3.2.1. Principais métodos utilizados na recomposição da cobertura vegetal

Segundo BARBOSA (2003), a avaliação do grau de perturbação ou de degradação de uma determinada área estabelece qual o método de reflorestamento que deverá ser adotado, o que poderá ser feito também a partir da fisionomia da vegetação existente.

3.2.1.1 Regeneração natural

É o método utilizado em áreas pouco perturbadas, em ambientes alterados, que mantêm a maioria das características bióticas (fauna e flora) das formações florestais típicas da área a ser preservada.

O método é indicado para locais em cujas proximidades existe a floresta remanescente, de modo que os processos naturais de recuperação possam agir (banco de sementes, banco de plântulas, chuva de sementes e rebrota).

A regeneração natural é reconhecida como o processo biológico mais econômico quando comparado aos demais, podendo ser acelerada através da adoção de práticas ou operações de manejos (BARBOSA, 2003).

3.2.1.2 Enriquecimento de florestas secundárias

As florestas secundárias são originárias de explorações seletivas e descontínuas, após ter sido retirada delas toda a vegetação arbórea de interesse econômico. Na maioria das vezes, essas matas são restos de uma vegetação exuberante outrora ocorrida, com alguns exemplares considerados de baixo valor econômico.

Esse sistema consiste em acrescentar mudas de espécies secundárias iniciais e tardias sob a copa das árvores remanescentes, enriquecendo essas áreas com espécies ocorrentes na região bioclimática.

Neste sistema, a mecanização do solo e o alinhamento das covas são impraticáveis. O importante é manter um espaçamento médio de 10 metros quadrados por planta, ou cerca de 3,30 x 3,30m, numa densidade de plantio de 1000 indivíduos por hectare, incluindo os existentes.

Quadro 1 – Características de espécies florestais brasileiras em função do estágio sucessional.

<u>Característica</u>	Espécie pioneira	Espécie secundária inicial	Espécie secundária tardia	Espécie climática
Ciclos de vida (anos)	Curto (1 a 3 podendo chegar a 5)	Curto (5 a 15)	Médio a longo (20 a 50)	Longo (mais que 100)
Tamanho e quantidade de sementes e frutos	Pequenos e em grande quantidade	Pequenos e em grande quantidade	Indefinidos, depende da espécie	Grandes e em pouca quantidade
Viabilidade de sementes	Longa, latentes no solo	Longa, latentes no solo	Curta e média	Curta
Disseminação de sementes	Pássaros, morcegos e ventos	Pássaros, morcegos e vento	Principalmente vento	Gravidade, mamíferos e coletores
Altura dos indivíduos (m)	4 a 8 (alguns até 12)	10 a 20	20 a 30 (alguns até 50')	30 a 45 (alguns até 60)
Tempo para atingir a altura máxima	Muito rápido (meses)	Rápido (meses a anos)	Variável com a espécie (>1 ano a alguns anos)	Lento (muitos anos – mais de 10 anos)
Densidade da madeira	Muito leve	Leve	Intermediária, variando com a espécie	Pesada e rígida
Espessura dos ramos das espécies dominantes	Muito finos (perímetro < 0,40m)	Finos (perímetros até 0,40 – 0,60m)	Espessos (perímetros < 0,80m)	Muito espessos (perímetro > 0,80m)
Folhagem da espécie dominante	Sempre verde	Sempre verde	Muitas são decíduas	Sempre verde
Forma de regeneração	Colonizam qualquer área, agressiva sob luz	Colonizam grandes clareiras	Colonizam pequenas e médias clareiras	Colonizam áreas sombreadas
Necessidade de luz	Muita luz (heliófitas)	Variável com a espécie	Variável com a espécie	Ombrófilas quando jovens, necessitam de luz quando adultas

Fonte: BARBOSA (2003)

Para proceder ao enriquecimento, deve-se primeiramente realizar uma limpeza manual do sub-bosque, eliminando herbáceas e cipós. Durante pelo menos dois anos após o plantio, deve-se manter a área limpa (BARBOSA, 2003).

3.2.1.3 Plantios heterogêneos em modelos sucessionais

Plantio heterogêneo consiste na prática de se plantar diferentes espécies numa mesma área, recriando as condições mais próximas possíveis das florestas naturais. Para avaliar o potencial de repovoamento vegetal e acelerar o processo de sucessão secundária nas áreas selecionadas para recuperação, vários modelos poderão ser implantados de acordo com a adequação à situação local.

Esta técnica é utilizada quando não existem características bióticas das formações florestais originais, não ocorrendo remanescentes florestais ou banco de sementes nas proximidades desta área.

Na implantação devem-se adotar as mesmas técnicas recomendadas para culturas perenes: tratos culturais, adubações, combate às pragas e doenças, e proteção contra incêndio e animais.

Nos dois primeiros anos após o plantio, o controle de ervas daninhas poderá ser mecanizado e complementado com coroação manual ao redor das mudas. Também se devem realizar podas de condução, para obtenção de uma adequada conformação dos galhos e das copas.

Quando as plantas atingirem 2m de altura ainda se deverá realizar roçagens manuais e, a partir de 4 a 5 anos, as copas se tocarão e haverá maior sombreamento do solo e menor incidência de gramíneas ou outras invasoras.

Por razões ecológicas e econômicas, recomendam-se espaçamentos de 2,00m x 2,00m até 3,3 x 3,3m – de 4 a 10 m² por planta, o que determina uma população de 1000 a 2500 plantas por hectare

Segundo BARBOSA (2003), a relação de indivíduos em função do estágio sucessional deve ser: 50:25:15:10, sendo: pioneira, secundária inicial, secundária tardia e clímax, respectivamente.

3.3. O uso de matéria orgânica em revegetação de áreas degradadas

Conforme descrito por FRANCO et al. (1994), a revegetação constitui uma etapa importante na recuperação das áreas de mineração cujos substratos são na maioria das vezes ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente fósforo. Adicionalmente, todo o nitrogênio e a maior parte do fósforo e enxofre disponíveis às plantas estão contidos na matéria orgânica do solo. Desta forma, a reposição constante de matéria orgânica no solo para o crescimento vegetal constitui a principal fonte destes nutrientes para as plantas.

Um dos fatores mais críticos da degradação é a remoção dos horizontes superficiais do solo, ricos em matéria orgânica, fundamentais à manutenção das condições físicas e químicas favoráveis e próprias à vida do solo (DIAS et al., 1994).

LEITE et al. (1994), em experimento visando à recuperação de área abandonada pela mineração de areia em Brasília-DF, utilizaram a descompactação do solo por gradagem conjunta à adubação orgânica com torta de mamona e um tipo de turfa. Apesar do aumento da capacidade de infiltração de água no solo, observou-se, num experimento testemunho sem adubação, que a descompactação isoladamente não foi suficiente para recolonizar a área, cujo índice de cobertura foi praticamente nulo. Por outro lado a adição de matéria orgânica propiciou uma maior disponibilidade de nutrientes no solo e o estabelecimento regenerativo de cerca de 70 espécies de plantas.

WISNIEWSKI et al. (1997), em um experimento utilizando lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas por mineração de rochas calcáreas, concluíram que o lodo de esgoto incorporado a 0,10m de profundidade no solo promoveu ligeiro aumento dos teores de fósforo, magnésio, capacidade de troca catiônica, outros macronutrientes e teores foliares de magnésio, favorecendo a vegetação local.

Áreas degradadas não possuem a fertilidade necessária para a manutenção da vegetação. Além do uso de técnicas corretas de plantio, o manejo da matéria orgânica é fundamental para que se ofereçam respostas satisfatórias à recuperação ambiental, porém a necessidade nutricional das espécies arbóreas brasileiras ainda é pouco conhecida. Há espécies que ocorrem só em solos ácidos, outras que são restritas aos solos calcários e outros indiferentes quanto à fertilidade do solo, segundo Ratter et al. (citado por HARIDASAN, 2000).

Estudando o comportamento de sete espécies florestais frente a adubação química e inoculação de micorrizas, POUYU-ROJAS e SIQUEIRA (2000), concluíram que a fertilização não afetou o crescimento das espécies estudadas, ao contrário da micorrização.

BORDINI (2007), que analisando diversos tratamentos para acelerar o crescimento em altura de espécies de cerrado em uma regeneração natural em área ocupada anteriormente por pastagem, relatou que uma capina química com uso de herbicida em área total promoveu o maior crescimento dos indivíduos regenerantes em comparação ao uso de um coroamento das espécies com adubação química (100g 4-14-6-N.P.K/cova), mostrando a importância de outros fatores, além do nutricional, no crescimento e desenvolvimento das espécies arbóreas de cerrado.

Gonçalves (citado por VENTURINI et al., 1999) relata que existem variações na concentração, absorção e eficiência de uso de nutrientes entre espécies pioneiras, secundárias e climáticas, pois em trabalho com nove espécies de diferentes grupos sucessionais, no viveiro e no campo, concluiu que no estágio de viveiro, à exceção do P na matéria seca da parte aérea, as pioneiras apresentaram concentrações médias de N, P, K e Ca superiores às das secundárias.

Segundo FLORES-AYLAS et al. (2003) o crescimento inicial de espécies arbóreas pioneiras (*Senna macranthera* (fedegoso), *Guazuma ulmifolia* (mutamba), *Senna multijuga* (cássia-verrugosa), *Solanum granuloso-leprosum* (gravitinga), *Schinus terebenthifolius* (aroeira) e *Trema micrantha* (trema)) em semeadura mista e direta em casa de vegetação, é favorecido pela elevação da disponibilidade de P no solo e pela inoculação de *Glomus etunicatum*, porém não pela adubação nitrogenada.

Outros autores relatam situações diferentes como (MENDES FILHO, 2004) que em trabalho de revegetação em área degradada por mineração, demonstrou que o sucesso da recuperação depende da adição de composto orgânico, uma vez que este é essencial para o estabelecimento das plantas e da microbiota do solo.

Também VENTURINI et al. (1999) observaram que plantas de angico-amarelo (*Peltophorum dubium*), espécie comum na mata ciliar e áreas de várzeas não encharcadas, responderam a adubação química, apresentando elevada exigência nutricional.

3.4. O lodo de esgoto

O lodo é o resíduo do tratamento de esgoto e a sua disposição final é um problema discutido em vários países. Sua utilização em áreas produtivas, reservadas para a agropecuária e a colocação em aterros sanitários são as formas predominantes de disposição adotadas pelos países desenvolvidos (LUDUVICE, 2000).

MACHADO et al. (2004) em um levantamento de dados sobre produção de lodo de esgoto em estações de tratamento de efluentes de 17 estados brasileiros e do distrito federal, realizado em 2001, relataram que baseados nas informações obtidas pode-se dizer que os lodos de esgotos são de boa qualidade e que poderiam ser utilizados na agricultura, porém cerca de 50% do lodo produzido pelos sistemas informados são dispostos em aterros.

Quando se promove a disposição do lodo em solos, tem-se o benefício de fornecer matéria orgânica e nutrientes, vantagens indiretas ao homem e ao ambiente, reduzindo os efeitos adversos da disposição em aterros ou da incineração do resíduo.

QUINTANA (2006) afirmou que a substituição da adubação mineral, pelo lodo de esgoto pode contribuir para o melhor desenvolvimento das plantas, pela melhoria das características físicas e químicas do solo, e pelo aumento da rentabilidade econômica, usando-se a dose ótima.

Porém, a disposição do lodo de esgoto na agricultura, apesar de ser uma alternativa técnica e economicamente viável, deve ser precedida de um planejamento prévio, respeitando-se as características ambientais (CANZIANI e OSAKI, 1999).

Segundo TSUTIYA (2001), os fatores de risco devido ao uso de lodo de esgoto podem ser divididos em: temporários (odor, salinização, poluição das águas e organismos patogênicos) e de longo prazo (metais pesados e contaminantes orgânicos).

Quanto ao odor, não existem características específicas, porém os lodos de esgoto devem ser estabilizados e as distâncias mínimas entre residências e áreas de aplicação devem ser estabelecidas. Para a salinidade não existem diretrizes específicas, mas uma certa preocupação com a aplicação em solos sob clima árido.

Com o intuito de não poluir as águas, o lodo de esgoto também deve ser aplicado já estabilizado, com taxas de aplicação definidas em função do teor de metais pesados e nutrientes, bem como respeitando as distâncias críticas de corpos de água e lençol freático.

3.4.1 Metais pesados

São considerados metais pesados os elementos que possuem massa específica maior que $5,0 \text{ g/cm}^3$, segundo MELO et al., (1997). No entanto, o termo é referido de forma generalista a alguns metais que causam contaminação ao ambiente, quando dispostos de forma inadequada.

Os teores de metais pesados solúveis no solo são geralmente baixos, porém a aplicação de agrotóxicos, fertilizantes químicos e resíduos urbanos e industriais pode aumentar sua concentração e causar danos aos seres vivos. Os resíduos urbanos apresentam grande variação no teor de metais pesados em função de sua origem. Os metais pesados presentes no lodo de esgoto são quase que totalmente provenientes de atividades industriais, as quais lançam seus efluentes nas redes coletoras. O Quadro 2 apresenta os principais metais pesados encontrados nos lodos sanitários provenientes de atividades industriais.

Quadro 2 – Principais metais pesados encontrados nos lodos de esgoto e sua origem.

Metal pesado	Origem
Cádmio (Cd)	Indústrias de tratamento de superfícies metálicas, plásticos, fabricação de radiadores, borracha, pigmentos, etc.
Cobre (Cu)	Canalizações de água quente, fábrica de fios elétricos, radiadores de automóveis e tratamento de superfícies metálicas.
Zinco (Zn)	Produtos farmacêuticos, fábrica de tintas, borracha, pilhas elétricas e galvanização.
Níquel (Ni)	Fábrica de ligas de aço especial, recobrimento de superfícies metálicas por eletrólise, hidrogenação de óleos e substâncias orgânicas, tintas e cosméticos.
Mercúrio (Hg)	Produtos farmacêuticos, fungicidas, aparelhos elétricos e eletrônicos, tintas, pasta de papel, fabricação de cloretos de vinil.
Cromo (Cr)	Curtumes, fabricação de ligas especiais de aço e tratamento de superfícies.
Chumbo (Pb)	Fabricação de baterias, tintas, escoamento pluvial de vias públicas e canalizações.
Selênio (Se)	Fabricação de tintas e pigmentos, vidro, indústria de semicondutores, inseticidas e ligas metálicas.

FONTE: FERNANDES e SILVA, (1999).

O lodo de estações de tratamento de esgoto (ETE) contém pouca quantidade de metais pesados, quando não recebe efluentes industriais.

A possibilidade de contaminação de plantas, solos e lençóis freáticos é uma grande preocupação mundial, em função da disposição de diferentes tipos de resíduos no solo.

O comportamento dos metais pesados no solo é bastante complexo e norteado por vários tipos de reações que definem a biodisponibilidade destes elementos às plantas, a solubilidade e lixiviação nos solos e conseqüentemente seu potencial de risco para a saúde humana.

Todos os metais pesados, nutrientes de plantas ou não, formam compostos poucos solúveis com os ânions disponíveis no solo. Uma das formas de imobilização desses metais é a formação de quelatos com os componentes húmicos do solo. A compostagem realizada com lodo de esgoto favorece o controle da toxicidade dos metais pesados, pois na fase de maturação ocorre a formação de húmus, segundo FERNANDES e SILVA, (1999).

Quanto às limitações da aplicação de lodo de esgoto no solo, em função da concentração de metais pesados, o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, através de uma resolução, determinou os limites de aplicação e acumulação de metais pesados no solo.

A Tabela 1 apresenta valores de limites de metais pesados para lodo de esgoto, adotado pela resolução CONAMA (2006).

A aplicação de lodo de esgoto em solos deverá respeitar os teores de metais pesados presentes, bem como a acumulação destes elementos na área, quando houver reaplicações.

Muitos autores relatam o baixo risco de acumulação de metais pesados no solo pela aplicação de lodo de esgoto e outros resíduos urbanos.

OLIVEIRA et al. (2002) em um experimento realizado no campo, onde se avaliou o efeito de aplicações sucessivas (20 a 72Mg.ha⁻¹.ano) de composto de lixo urbano em um Latossolo Amarelo distrófico, na movimentação em profundidade de cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco, concluíram que não houve, no perfil do solo, evidência da movimentação em profundidade dos metais estudados. Apenas o Zn apresentou mobilidade no solo, tendo sido encontrado incremento significativo a até 0,60m de profundidade.

CAMILOTTI et al.(2007) encontraram baixos teores de metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb) disponíveis no solo e nas partes das plantas de cana-de-açúcar, quando aplicaram lodo de esgoto e vinhaça no solo, indicando que estes resíduos não apresentaram potencial de contaminação do sistema solo-planta, após três aplicações anuais sucessivas.

OLIVEIRA e MATIAZZO, (2001) em um Latossolo Amarelo distrófico que recebeu dosagens de até 336t/ha de lodo de esgoto, com os teores de metais pesados no limite permitido, não apresentou movimentação significativa destes elementos ao longo do perfil do solo, com exceção do zinco que se mostrou móvel a até 0,60m de profundidade.

Segundo WISNIEWSKI et al. (1997), a aplicação de lodo de esgoto em solo degradado conferiu ao terreno níveis de cromo (Cr) próximos aos valores críticos permitidos. Segundo os mesmos autores, o tratamento com lodo de esgoto pode resultar em aumento de metais pesados na cadeia alimentar, seja pelo consumo direto de vegetais, seja indiretamente, através de produtos derivados de animais. Esta absorção dependerá da concentração dos metais pesados no lodo, do genótipo da planta e do período de interação dos metais do lodo e o solo.

Uma grande variedade de microrganismos está presente no lodo de esgoto, porém a maior parte possui características benéficas, pois são saprófitas (decompositoras) e não apresentam riscos à saúde, do ponto de vista médico ou veterinário.

Tabela 1 - Valores-limite de metais pesados para aplicação de lodo de esgoto no solo.

Metais	Concentração máxima de metais (base seca)	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo
	mg/kg	kg/ha
Arsênio	41	30
Bário	1300	265
Cádmio	39	4
Chumbo	300	41
Cobre	1500	137
Cromo	1000	154
Mercurio	17	1,2
Molibdênio	50	13
Níquel	420	74
Selênio	100	13
Zinco	2800	445

Fonte: CONAMA, (2006).

3.4.2. Organismos patogênicos

Os organismos patogênicos encontrados normalmente nos esgotos sanitários são pertencentes ao grupo dos fungos, vírus, bactérias e parasitos obrigatórios (helmintos, platelmintos e protozoários). Os microrganismos ficam adsorvidos às partículas sólidas em suspensão e tendem a se precipitar durante a fase de decantação, concentrando-se no lodo de esgoto. A densidade de microrganismos presentes nos lodos é variável, pois está ligada às características da comunidade geradora e ao tipo de tratamento a que foi submetido.

Encontra-se as maiores densidades de patógenos, principalmente ovos de helmintos, em lodos gerados em países menos desenvolvidos, com sistemas de tratamento menos eficientes na remoção de organismos, serviços de saúde e saneamento básico precários.

O Quadro 3 relaciona alguns patógenos comumente encontrados nos lodos de esgoto, as doenças causadas e os sintomas (TSUTIYA, 2001).

Quadro 3 – Agentes patogênicos comumente encontrados em lodos de esgoto e as doenças e sintomas causados

ORGANISMO	DOENÇAS/SINTOMAS
Bactéria	
<i>Salmonella sp.</i>	Salmonelose, febre tifóide
<i>Shigella sp.</i>	Disenteria bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Escherichia coli</i> (cepas patogênicas)	Gastrenterite
Vírus entéricos	
Vírus da hepatite A	Hepatite infecciosa
Rotavírus	Gastrenterite aguda
Protozoários	
Entamoeba histitica	Enterite aguda
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Distúrbios digestivos
<i>Taenia solium</i>	Teníase (distúrbios digestivos)
<i>Taenia saginata</i>	Teníase (distúrbios digestivos)
<i>Necator americanus</i>	Amarelão
<i>Trichuris trichiura</i>	Anemia e perda de peso

Fonte: TSUTIYA, 2001.

Segundo FERNANDES e SILVA (1999), o conhecimento dos agentes patogênicos e da sua viabilidade permite avaliar o potencial de risco de infecção a que o homem e outros animais estão expostos. Dentre os agentes patogênicos presentes a maior preocupação é com os parasitas intestinais (ovos de helmintos e cistos de protozoários), devido à alta frequência de helmintos na população, longo tempo de sobrevivência dos ovos e cistos no meio externo e sua baixa dose infectante (um ovo ou cisto é suficiente para infectar o hospedeiro).

O lodo de esgoto e seus derivados, de acordo com suas características microbiológicas, são classificados em A ou B pelo CONAMA (2006), conforme apresentado na Tabela 2. O tipo da classe define seu uso agrícola, sendo proibida 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. Lodos de esgoto ou produto derivado enquadrados como classe A poderão ser utilizados, desde que respeitadas as restrições acima. A utilização de lodo de esgoto ou produto derivado enquadrado como classe B é restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos.

Tabela 2 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado pela presença de agentes patogênicos.

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de Patógenos
A	Coliformes Termotolerantes 10^3 NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST Salmonella ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes 10^6 NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

Fonte: CONAMA (2006)

As formas indicadas para o tratamento do lodo de esgoto, visando a classificação, segundo CONAMA (2006) são os processos de redução significativa de patógenos, redução adicional de patógenos e atratividade de vetores, os quais foram baseados no estabelecido pela U.S.EPA, conforme 40 CFR Part 503 - Appendix B, Federal Register, de 19 de fevereiro

de 1993. As listas abaixo relacionam os processos aceitos para redução significativa de patógenos (necessários para a obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo B), redução adicional de patógenos (necessários para a obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo A) e redução da atratividade de vetores. Outros processos poderão ser propostos, desde que haja comprovação de sua eficiência e seja aceito pelo órgão ambiental.

1. Processos de Redução Significativa de Patógenos

a) digestão aeróbia - a ar ou oxigênio, com retenções mínimas de 40 dias a 20°C ou por 60 dias a 15°C;

b) secagem em leitos de areia ou em bacias, pavimentadas ou não, durante um período mínimo de 3 meses;

c) digestão anaeróbia por um período mínimo de 15 dias a 35-55°C ou de 60 dias a 20°C;

d) compostagem por qualquer um dos métodos citados anteriormente, desde que a biomassa atinja uma temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de um pico de 55°C, ao longo de quatro horas sucessivas durante este período; e

e) estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas.

2. Processos de Redução Adicional de Patógenos

a) compostagem confinada ou em leiras aeradas (3 dias a 55°C no mínimo) ou com revolvimento das leiras (15 dias a 55°C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira durante pelo menos 5 dias ao longo dos 15 do processo);

b) secagem térmica direta ou indireta para reduzir a umidade do lodo de esgoto ou produto derivado a 10% ou menos, devendo a temperatura das partículas de lodo de esgoto ou produto derivado superar 80°C ou a temperatura de bulbo úmido de gás, em contato com o lodo de esgoto ou produto derivado no momento da descarga do secador, ser superior a 80°C;

c) tratamento térmico pelo aquecimento do lodo de esgoto ou produto derivado líquido a 180°C, no mínimo, durante um período de 30 minutos;

d) digestão aeróbia termofílica a ar ou oxigênio, com tempos de residência de 10 dias a temperaturas de 55 a 60°C;

e) processos de irradiação com raios beta a dosagens mínimas de 1 megarad a 20°C, ou com raios gama na mesma intensidade e temperatura, a partir de isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137 e

f) processos de pasteurização, pela manutenção do lodo de esgoto ou produto derivado a uma temperatura mínima de 70°C, por um período de pelo menos 30 minutos.

Das alternativas de tratamento de lodo, visando à destruição de microrganismos patogênicos, a compostagem tem se mostrado como uma das mais eficientes. A intensa atividade microbiológica durante o processo permite o desenvolvimento de uma população de microrganismos termófilos no início do processo, o que faz com que a temperatura se mantenha elevada por vários dias, destruindo parte dos patógenos, garantindo que o composto obtido não ofereça risco à saúde pública ou meio ambiente. A eficiência na remoção de patógenos depende da temperatura e tempo de exposição.

O Quadro 4 apresenta tempo e temperaturas necessárias para a destruição de patógenos em lodo de esgoto.

Quadro 4 – Tempo de exposição e temperaturas necessárias para eliminação térmica de patógenos.

Organismo	Tempo de exposição (em minutos) para a destruição de patógenos a várias temperaturas				
	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C
<i>Entamoeba histolitica</i>	5				
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	60	7			
<i>Salmonella typhi</i>			30		4
<i>Escherichia colli</i>			60		5
<i>Shigella</i> sp	60				
<i>Necator americanus</i>	50				
<i>Taenia saginata</i>					5
Vírus					25

Fonte: FERNANDES e SILVA (1999).

CORRÊA et al. (2007), verificaram que um lodo de esgoto que apresentava, originalmente 4,7 ovos viáveis de helmintos por grama de matéria seca, com o processo de compostagem reduziu essa concentração para valores entre não-detectáveis a 0,34 ovos viáveis

de helmintos por grama de material seco, o que representa uma eficiência de desinfestação entre 93 e 100%.

Fatos diferentes foram encontrados por DUARTE (2008), onde foram realizadas análises parasitológicas em amostras de 25 diferentes compostos orgânicos antes e após tratamento térmico a 60°C durante 12 horas. Os resultados demonstraram elevada contaminação parasitária em todos os compostos analisados antes do tratamento e a não redução dessa contaminação após o tratamento térmico proposto, concluindo que os compostos produzidos com lodo de esgoto doméstico e resíduo agropecuários, utilizando esses processos de tratamentos (somente a fase termofílica da compostagem e o tratamento térmico), podem constituir riscos de contaminação para humanos e animais.

Além das altas temperaturas, outro fator que é indicado como responsável pela eliminação de organismos patogênicos é a sucessão de microrganismos saprofíticos, que contribuem para a eliminação de patógenos humanos, por meio da competição, predatismo e parasitismo. CORRÊA et al. (2007) mostrou que patógenos humanos sobrevivem mais tempo quando expostos somente a temperaturas entre 55 e 80 °C do que quando colocados em contato com microrganismos da compostagem; a comunidade saprofítica que se desenvolve na fase mesofílica da compostagem é muito importante para a desinfecção do lodo de esgoto.

3.5. Sobrevivência de microrganismos patogênicos provenientes de lodo de esgoto em solos.

O conhecimento do tempo de sobrevivência de microrganismos entéricos em solos que sofreram aplicação de lodo de esgoto é fundamental para definir o período de reentrância de pessoas ou animais na área, bem como épocas de colheitas. O Quadro 5 apresenta o tempo de sobrevivência de alguns microrganismos no solo e nas plantas.

Os fatores que afetam a permanência destes microrganismos no solo são: *Umidade* (Solos úmidos e períodos de grande precipitação aumentam o tempo de sobrevivência, inclusive solos sob irrigação); *Capacidade de retenção de água* (O tempo de sobrevivência é menor em solos arenosos do que naqueles capazes de reter a umidade); *Temperatura* (O tempo de sobrevivência é maior em baixas temperaturas como, por exemplo, no inverno); *pH* (O

tempo de sobrevivência é menor em solos ácidos (pH 3 a 5) do que naqueles neutros ou alcalinos.

O pH do solo tem efeito sobre a influência dos nutrientes e agentes inibidores); *Luz solar* (Onde há incidência maior de luz solar, o tempo de sobrevivência é menor, provavelmente pela dessecação, raios ultravioleta e altas temperaturas); *Matéria orgânica* (Dependendo do estágio de decomposição da matéria orgânica, ela pode aumentar o tempo de sobrevivência pela capacidade de retenção de água ou criar meio anaeróbico quando em fermentação, favorecendo alguns microrganismos patogênicos); *Fauna e flora natural do solo* (A competição e a predação com os microrganismos endêmicos do solo diminuem o tempo de sobrevivência dos agentes patogênicos).

Quadro 5 - Tempo de sobrevivência dos grupos de patógenos no solo e na planta.

Patógeno	Solo		Planta	
	Máximo absoluto	Máximo comum	Máximo absoluto	Máximo comum
Bactérias	1 ano	2 meses	6 meses	1 mês
Vírus	1 ano	3 meses	2 meses	1 mês
Cistos de Protozoários	10 dias	2 dias	5 dias	2 dias
Ovos de helmintos	7 anos	2 anos	5 meses	1 mês

Fonte: SANEPAR (1997).

ANDRAUS et al. (1998) estudaram a sobrevivência de *Salmonella spp.*, estreptococos e coliformes fecais em solos fertilizados com lodo aeróbico desidratado por prensa desaguadora e constataram que *Salmonella spp.*: apresentou sobrevivência aproximada de 30 dias após a incorporação; Estreptococos fecais: apresentaram redução de 88,4% em sua população inicial após 140 dias da incorporação; Coliformes fecais: apresentaram redução de sua população inicial com remanescentes de 10^4 NMP/100g PS (peso seco). Os autores concluíram que o estabelecimento de taxas definitivas de sobrevivência é praticamente impossível, devido aos diferentes fatores ambientais, físicos, químicos e biológicos dos solos.

3.6. Uso do lodo de esgoto e as propriedades do solo

As pesquisas realizadas sobre a influência do uso do lodo de esgoto nas propriedades do solo têm demonstrado que sua adição ao solo promove uma alteração nas propriedades físicas, químicas e biológicas, afetando positivamente o desenvolvimento das plantas.

O lodo de esgoto contém entre 35 e 80% de matéria orgânica (base seca). Isto significa que sua adição ao solo permite a incorporação de uma quantidade apreciável de matéria orgânica nos horizontes superficiais do solo.

A matéria orgânica afeta positivamente certos atributos do solo, qualificando suas mais importantes propriedades. Indiretamente, sua presença condiciona a dinâmica de soluções no solo, afetando a própria dinâmica pedológica.

3.6.1. Uso do lodo de esgoto e as propriedades físicas do solo

O efeito da matéria orgânica nos atributos físico-químicos do solo, além de uma ação cimentante, causa o chamado “efeito mistura”, que significa a transferência ao solo de alguns atributos próprios. A ação cimentante e o “efeito mistura” atuam ao mesmo tempo e alteram os atributos de maneira inversa. Enquanto a ação cimentante pode diminuir a capacidade de retenção de água, o efeito mistura pode aumentar. Isto se deve ao fato de a matéria orgânica possuir elevada capacidade de retenção de água e de suas partículas de tamanho coloidal poderem colmatar os macroporos, transformando-os em microporos. A predominância de um efeito sobre o outro depende da quantidade de lodo de esgoto aplicado, porque, quanto maior a quantidade, maior o efeito mistura (MARCIANO, 1999).

Em um experimento, MELLO (2004) aplicou lodo de esgoto *in natura* em um Latossolo Vermelho-distrófico durante cinco anos e observaram que somente a dose acumulada de 50Mg.ha⁻¹ reduziu a densidade do solo na camada de 0-0,10m, não alterando a densidade na camada de 0,10 a 0,40m, concluindo também que os efeitos do lodo de esgoto nos atributos físicos do solo dependem do tipo de solo e quantidade aplicada. Dados semelhantes foram descritos por COLINO (2006) o qual estudando o comportamento de solos com diferentes texturas em função da aplicação de lodo de esgoto, concluiu que o solo arenoso

foi o que apresentou um resultado melhor em seus aspectos físicos após a adição do lodo, em relação ao solo argiloso.

KITAMURA et al. (2008) que em um experimento com recuperação de solo degradado, combinando a prática mecânica (mobilização do solo) mais o uso de matéria orgânica, observaram que o revolvimento foi o fator que sobressaiu, pois houve diferenças na condição degradada para com as que receberam tratamentos e não houve diferenças entre os tratamentos que receberam somente o preparo do solo e preparo do solo mais a adição de matéria orgânica (adubo verde e lodo de esgoto).

Também COLODRO (2006) em um trabalho de recuperação de área de empréstimo de solo com lodo de esgoto, observou que a densidade do solo reduziu apenas na camada superficial (0,00 a 0,05 m) entre a testemunha e a dose máxima de lodo e que tal redução pode ter decorrido mais do efeito mecânico do preparo do solo (enxada rotativa), realizado somente nos tratamentos com lodo de esgoto, do que propriamente a ação destes.

Os estudos realizados por JORGE et al. (1991) sobre as condições físicas apresentadas por um Latossolo Vermelho-escuro, quatro anos após a aplicação de lodo de esgoto e calcário, mostraram os efeitos positivos desta aplicação sobre os agregados maiores (entre 1 e 4mm) e negativos sobre os menores. Também demonstraram que a forma de aplicação (uma única vez ou parcelada) é importante na definição das novas condições físicas. Assim, os efeitos positivos são mais evidentes quando o lodo de esgoto é aplicado de forma parcelada, o que pode ser explicado pela evolução mais lenta da matéria orgânica.

Com relação à porosidade e densidade do solo, estudos com doses crescentes de lodo de esgoto, provenientes da ETE Barueri (SP), em Latossolo Vermelho Amarelo, realizados por MARCIANO (1999) constataram uma diminuição na densidade nas camadas superiores do solo (0-0,20m). Este fato reflete um maior estado de agregação das partículas do solo, que determina aumento de volume e conseqüente redução da densidade.

Observando os dados apresentados por COLODRO (2005) em um experimento de recuperação solo em área de empréstimo com lodo de esgoto, constata-se que a macroporosidade e a microporosidade do solo não foram influenciadas pela adição dos resíduos e que em algumas camadas de solo, a parcela que não recebeu nenhuma aplicação apresentou maiores valores de macroporosidade. Semelhante à BARBOSA et al. (2002), que testando aplicações consecutivas de 6 a 18Mg.ha⁻¹ de lodo de esgoto em Latossolo eutroférico,

concluíram que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para a porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo tratado.

Com o objetivo de estudar ações para acelerar a formação do horizonte A de um Latossolo Vermelho degradado, via adição de adubos verdes, lodo de esgoto e cultivo de uma espécie arbórea nativa de Cerrado, KITAMURA et al. (2008) não encontraram diferenças significativas para macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo que recebeu lodo de esgoto comparado com um solo exposto sem manejo.

BARBOSA et al. (2002), avaliando as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto nas dosagens de 6, 12 e 18 t.ha⁻¹ (aplicados em uma ou duas vezes ao ano) e adubação mineral por dois anos consecutivos, verificaram uma tendência de aumento na agregação do solo e macroporosidade, e redução na densidade do solo e microporosidade, porém sem diferenças significativas entre os tratamentos. A resistência do solo à penetração foi menor na superfície do solo (0-0,1m) apenas no tratamento que utilizou 12 t.ha⁻¹.ano, e as densidades de partículas e a condutividade hidráulica aumentaram nos tratamentos que receberam 36 t.ha⁻¹.ano (sendo 18t.ha⁻¹ aplicados semestralmente) e 18t.ha⁻¹.ano respectivamente.

A matéria orgânica e os minerais de argilas são os dois principais agentes cimentantes dos agregados do solo, porém o mecanismo é bastante complexo, conforme verificado em alguns trabalhos experimentais, como CARVALHO (2006) que estudando a agregação de um Latossolo sob diferentes usos e manejos, demonstrou que o diâmetro médio ponderado dos agregados de um solo degradado que recebeu lodo de esgoto e foi cultivado com eucalipto não foi diferente do mesmo solo degradado sem tratamento e CAMPOS (2005) que em uma pesquisa sobre reestruturação de solo degradado com lodo de esgoto verificou que a adição de matéria orgânica pelos tratamentos visando à recuperação do solo degradado, não foi suficiente para causar alterações perceptíveis, pelo método de avaliação da estabilidade de agregados adotado, entre a condição natural do solo e a condição em recuperação.

Também MURAISHI (2006) que objetivando estudar as modificações de propriedades químicas e agregação de um Latossolo Vermelho sob Cerrado, em manejo com adubação orgânica e/ou mineral e com diferentes sistemas de cultivo, determinou que o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo não apresentaram diferenças quando este foi

submetido a aplicação de 20 e 30Mg.ha⁻¹ de lodo de esgoto ou de 20 Mg.ha⁻¹ de esterco bovino.

Por outro lado, ANNABI et al. (2007) utilizando composto orgânicos, estabilizados e não estabilizados, de resíduos urbanos em vasos encubados em laboratórios e concluíram que o composto de lodo de esgoto aumentou significativamente a agregação do solo.

Também SOUZA et al. (2005) estudaram o comportamento de dois Latossolos após cinco anos de aplicação de lodo de esgoto e obtiveram maior agregação do solo apenas na camada de 0-0,1m, quando aplicaram 50 Mg.ha⁻¹ do resíduo, ficando as camadas até 0,4m sem diferenças estatísticas. Assim como MARIA (2007), que mostraram que o lodo de esgoto tratado com polieletrólitos incorporado ao solo nas doses de 10 e 20 t ha⁻¹ proporcionou o aumento do teor de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados do solo na camada 0-0,10 m após duas aplicações anuais consecutivas, porém não encontraram diferenças significativas na camada de 0,20-0,40m.

Alterações nas propriedades físicas do solo afetam, de forma acentuada, sua funcionalidade, pois alteram a circulação das soluções no interior do solo. Tanto a taxa de infiltração como a capacidade de retenção de água são modificadas pela adição de lodo de esgoto.

Segundo ABRAHÃO (1992), a capacidade de retenção de água aumentou quando se aplicou 80t.ha⁻¹ de lodo de esgoto, mas não houve efeitos sobre a infiltração.

3.6.2. Uso do lodo de esgoto e as propriedades químicas do solo.

Os principais efeitos provocados pela adição de lodo de esgoto nas propriedades químicas dos solos estão relacionados, da mesma forma que nas propriedades físicas, à incorporação de grandes quantidades de matéria orgânica.

MELO et al. (1994) concluíram, através de um experimento com aplicações de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar, que após quatro anos a dosagem de 32T.ha⁻¹ conferiu ao solo maior teor de carbono orgânico e CTC.

Principalmente nos solos tropicais, caracterizados por um estágio avançado de evolução, apresentando um complexo adsorvente formado por argilas de baixa atividade (argilas 1:1 e gibsitica), pobres em matéria orgânica com baixa capacidade de troca catiônica

(CTC), a adição de lodo de esgoto terá um efeito altamente positivo em sua fertilidade, pois praticamente toda a CTC encontra-se ligada à matéria orgânica, assim o aumento dos teores de matéria orgânica no solo provoca um aumento na CTC (MELO et al., 1994).

As propriedades orgânicas do lodo de esgoto têm grande influência nas propriedades químicas do solo, principalmente na alteração do complexo adsorvente. Aplicações de doses acima de $30\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de lodo de esgoto apresentaram correlação significativa entre a CTC e as frações da matéria orgânica por um período que varia de 230 a 300 dias (MELO, 2004).

A incorporação de lodo de esgoto pode alterar o pH do solo, alterações estas que irão depender do tipo de lodo de esgoto adicionado. De uma maneira geral, quando calcado, sua adição provoca um aumento no pH, mas sem tratamento com calcário ocorre uma redução no pH do solo. Em estudos sobre a adição de doses crescentes de lodo de esgoto, que recebeu cal no processamento, no comportamento do pH em diferentes tipos de solo BERTON et al (1989) verificaram uma elevação do pH. Em alguns tipos de solo, esta elevação foi mais acentuada, como por exemplo, nos argissolos distróficos. A explicação para tal efeito estaria ligada à formação do íon amônio, devido à oxidação do N-orgânico, presente em grande quantidade neste tipo de material.

Por outro lado, BETTIOL (2004) trabalhando com lodos da ETEs Barueri e Franca, SP, que não receberam cal, mas foram desidratadas com polieletrólito, verificou acidificação do solo com aumento das concentrações de lodo.

A procedência do lodo de esgoto e o tratamento recebido influenciam sua ação no solo. Observa-se na literatura que o processo de adição de cal, eleva o seu pH do lodo de esgoto e quando aplicado ao solo, o comportamento é diferente de um resíduo orgânico não alcalinizado, principalmente com relação ao aporte de matéria orgânica no solo, uma vez que a elevação do pH destrói grande parte do carbono orgânico do lodo por processos químicos (OLIVEIRA et al., 2001).

GUEDES et al. (2006) em um experimento com dosagens de lodo de esgoto alcalinizado de até $160\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em eucalipto, verificaram que a utilização de até $40\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ não causou efeito condicionador no solo até um ano após a disposição, pois a incorporação do material pode diminuir o teor de C orgânico do solo logo após a aplicação de doses menores de lodo de esgoto alcalinizado.

Este fato é comprovado em experimentos que não utilizaram lodo alcalinizado, como o de DIAS et al. (2007) que verificaram que o teor e o estoque de C orgânico aumentaram com o acréscimo nas doses de lodo de esgoto aplicadas, até a camada de solo de 0–0,20m e também MARIA et al. (2007) notaram o aumento da matéria orgânica do solo e também que esse efeito foi significativo apenas na camada superficial (0-0,10 m). BEZERRA et al. (2006) verificaram que as doses crescentes de lodo aplicadas exerceram efeitos significativos sobre o teor de carbono orgânico, o qual contribuiu com o seu aumento no solo até 180 dias depois de sua aplicação. Porém o comportamento da matéria orgânica em solos que receberam aplicações de lodo de esgoto e outros resíduos demonstra ser bastante complexo e dependente de vários fatores.

ROCHA e MOURA (2004) relataram que o uso de lodo de esgoto alcalinizado aplicado em um Latossolo Vermelho Amarelo aumentou os teores de matéria orgânica, nas camadas de 5-10 e 0,10-0,20m, de P-resina e de Ca trocável, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m

A adição de lodo de esgoto tem ainda um importante efeito na fertilidade do solo através da incorporação de quantidades, por vezes significativas, de micro e macronutrientes, que podem ser transferidos para as plantas, auxiliando o crescimento vegetal. Foi constatado que, com exceção do potássio, o lodo de esgoto pode fornecer às plantas quase todos os nutrientes para os diferentes tipos de culturas (MILLER, 1973).

GOBBI (2003) testando a aplicação de diferentes dosagens de lodo de esgoto (0, 6, 20, 40, 60, 80 Mg.ha⁻¹), em solos cultivados com milho em duas safras, mostrou que a fertilidade do solo aumentou com as dosagens e que 6Mg.ha⁻¹ apresentou a mesma resposta à produção de grãos e na receita líquida da cultura do milho, que a adubação mineral.

O interesse ambiental na disposição de lodo de esgoto no solo de forma sustentável é fortalecido quando também acarreta benefício econômico como o apontado por VIEIRA et al. (2005) que utilizando lodo de esgoto no solo e inoculação de sementes de soja com bactérias fixadoras de nitrogênio obtiveram as maiores produtividades, tanto no primeiro como no segundo ano agrícola, com doses de 3 e 6Mg.ha⁻¹. GADIOLI e NETO (2004) aplicando 5 t ha⁻¹ lodo de esgoto, calculada pela taxa de nitrogênio disponível no lodo, verificaram para milho e feijão, rendimentos semelhantes, quando comparado com a adubação mineral.

Em um experimento com a aplicação de lodo de esgoto seco ou úmido nas linhas de plantio de eucaliptos, complementados com potássio e boro, SILVA (2006) verificaram incremento significativo do volume de madeira produzida em relação à testemunha. Também GUEDES (2005) com o objetivo de estudar a utilização do lodo de esgoto em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, aplicou dosagens de até 40Mg.ha⁻¹ complementadas com potássio, e descreveu que durante quatro anos de desenvolvimento, as árvores que receberam a maior dose do lodo produziram e devolveram ao solo 5340 kg ha⁻¹ de folhas senescentes a mais do que as árvores testemunhas e 2422 kg ha⁻¹ a mais do que as que receberam adubação.

O lodo de esgoto é um resíduo rico em nitrogênio, porém, grande parte deste se encontra na forma orgânica, necessitando, portanto, da atuação dos microrganismos do solo para transformar em forma mineral, absorvível para as plantas (MELO e MARQUES et al, 2001). Segundo SAINJU et al. (1999), a mineralização do nitrogênio contido na matéria orgânica do solo pode contribuir significativamente para acumulação de nitrato no perfil do solo. De acordo com COURACCI FILHO et al. (1999) o nitrato existente no solo, por ser altamente solúvel em água e possuir carga negativa, é pouco retido pelas partículas coloidais. Portanto, está sujeito à percolação no solo e assim pode atingir aquíferos subterrâneos. A contaminação dos mananciais com nitrato tem causado sérias preocupações uma vez que em concentrações acima de 10mg.L⁻¹ na água consumida pode causar danos à saúde dos homens e animais (FERREIRA et al., 2003).

ANDRADE e MATTIAZZO (2000) em um estudo sobre a movimentação e a fitodisponibilidade do nitrogênio e dos metais pesados em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura arenosa, em função da aplicação de doses de lodo de esgoto (10, 20, 30 e 40 t.ha⁻¹ base seca) na cultura do eucalipto, concluíram que o lodo de esgoto não provocou movimentação e alteração no teor de nitratos e metais pesados no solo, nas diversas profundidades estudadas (0 a 0,90m), com exceção do zinco, o qual se acumulou entre 0,30 e 0,60m no solo. Os teores foliares de nitrogênio aumentaram com as doses de lodo de esgoto aplicadas, evidenciando o efeito do lodo de esgoto na fitodisponibilidade do nitrogênio no solo.

Em um experimento de campo, SOARES (2003) estudou a perda de nitrogênio em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média-arenosa degradado pela remoção da camada de 0-0,20m e cultivado com eucalipto após aplicação de 20t.ha⁻¹ de lodo de esgoto. A aplicação de lodo foi realizada na superfície do solo, sem incorporação, seguida

de uma subsolagem a 0,40m de profundidade, sendo observado migração do nitrogênio mineral até a profundidade de 0,35m, via lixiviação, ao longo de seis meses, nos tratamentos que receberam lodo de esgoto.

WAGNER e CHUEIRI (2007), estudando o uso de lodo de esgoto alcalinizado (pH 11,7) na cultura do trigo, verificaram que após 20 dias de sua aplicação ao solo, o pH elevou-se acima da neutralidade; a saturação por bases, a capacidade de troca de cátions e os teores de P, K, Ca, Cu e Zn aumentaram e os teores de Mn e H + Al diminuíram, mas o carbono do solo não foi afetado. Verificaram, também, que os parâmetros morfológicos e a matéria seca das plantas de trigo foram negativamente afetados pelo lodo de esgoto alcalinizado.

Aplicação de diferentes dosagens de lodo de esgoto alcalinizado com cal em solo cultivado com cana-de-açúcar resultou em aumento da fertilidade do solo pela diminuição da acidez, pelo fornecimento de nutrientes, principalmente de Ca, P, S e Zn; e aumento da CTC efetiva, sendo que os efeitos do lodo de esgoto na fertilidade do solo perduram por apenas um ano agrícola (SILVA et al., 2001).

Utilizando lodo de esgoto proveniente de digestão anaeróbica em doses de até 60,5Mg.ha⁻¹ na cultura do milho, GOMES et al. (2005) verificaram que a adição de doses crescentes de lodo de esgoto promoveu a diminuição no pH e o aumento na acidez potencial do solo, uma vez que o lodo utilizado no trabalho não recebeu tratamento com cal e apresentava caráter ácido, atribuindo também o efeito ao processo de degradação biológica da matéria orgânica presente no lodo.

DYNIA et al. (2006) avaliaram a lixiviação de nitrato causada por aplicação de lodo de esgoto e adubo mineral, em Latossolo cultivado com milho, e concluíram que a aplicação de lodo, em doses correspondentes ao fornecimento de quatro e oito vezes o N disponível, resulta em intensa lixiviação do ânion a partir dos primeiros cultivos; após cinco aplicações dessas doses, grande parte do nitrato lixiviado alcançou a profundidade de 3 m.

O transporte de nitrato em águas de enxurradas foi constatado por OJEDA et al. (2006) após a aplicação em superfície de lodo de esgoto proveniente de diversos tipos de tratamento, confirmando o risco de contaminação de águas superficiais.

SIMONETE et al. (2003), utilizando dosagens de até 50Mg.ha⁻¹ de lodo de esgoto proveniente de digestão anaeróbica, sem tratamento químico, em um Argissolo

Vermelho-Amarelo em vasos cultivados com milho, concluíram que a aplicação do lodo de esgoto aumentou os teores de MO, P, K, Ca, Mg, SO_4^{2-} , Al e H+Al do solo e diminuiu o pH. A adição de doses agronomicamente recomendadas normalmente resulta em quantidade de fósforo que excedem as necessidades das culturas, causando acúmulo no solo. Isto se deve ao fato de a aplicação desta dose de lodo de esgoto ser realizada com base no teor de N. A possível toxidez de fósforo nos solos agriculturáveis pode contribuir com a eutrofização de corpos d'água, o que é um dos problemas discutidos em outros países (JORDÃO, 2006).

Estudando a capacidade de cinco tipos de lodo de esgoto em suprir N e P para o azevém, CORRÊA, (2004) verificou que após uma aplicação de lodo de esgoto seguida de seis colheitas consecutivas, 25%–94% do N e 93%–99% do P não foram utilizados pelas plantas e permaneceram nos solos.

SHOBER e SIMS (2007) analisando os parâmetros utilizados para definição de dosagens de lodo de esgoto visando a perda superficial de fósforo, verificaram diferenças na sua acumulação, quando aplicadas em superfície ou incorporadas ao solo, também relataram a importância do tratamento do lodo de esgoto no comportamento do fósforo do solo.

KORBOULEWSKY et al. (2002) testando a aplicação de um composto de lodo de esgoto em videiras e sua influência na disponibilidade de nitrogênio e fósforo, verificaram que o fósforo foi o fator limitante na aplicação de lodo de esgoto em videiras, pois não foi totalmente absorvido pelas plantas e seu excesso pode acumular no solo e vir a contaminar águas superficiais.

3.7. A compostagem

O uso do lodo de esgoto nos solos, para posterior plantio de vegetais, deve ser feito após processos que permitam a estabilização da matéria orgânica presente. Lodos obtidos em processos aeróbios de tratamentos geralmente necessitam de estabilização.

De acordo com FERNANDES e SILVA (1999), um processo de estabilização que também promova a desinfecção de agentes patogênicos e apresente baixo custo operacional é o mais apropriado para as condições socioeconômicas dos municípios brasileiros. A compostagem é um processo que apresenta essas características e segundo CORRÊA e

CORRÊA (1998), a compostagem de lodo de esgoto é uma alternativa viável em pequena, média e grande escalas.

A compostagem pode reduzir a viabilidade de ovos de helmintos, principalmente pelo aumento da temperatura, como relatado por RESSETI et al. (1999), os quais obtiveram redução de 93-100% no número de ovos viáveis em um lodo de esgoto, submetido à compostagem. A compostagem também pode reduzir a população de coliformes fecais (REMIGIO, 2001).

A compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (KIEHL, 1998). O processo transforma resíduos orgânicos com características desagradáveis (odor, mal aspecto, contaminação por microrganismos patogênicos, etc.) em composto orgânico, que é um insumo agrícola, de odor agradável, fácil de manipular e livre de microrganismos patogênicos.

Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas de transformação sob a ação de diversos grupos de microrganismos, resultando num processo bioquímico altamente complexo.

A mineralização do carbono que ocorre com a aplicação do lodo de esgoto no solo, comparado com a que ocorre com a compostagem, mostra que esta é a melhor maneira de se obter a máxima estabilização do carbono, a qual é um importante fator de conservação do solo (BERNAL et al., 1998)

De acordo com KIEHL (1985), sendo a compostagem um processo biológico, os fatores mais importantes que influem na degradação da matéria orgânica são: a aeração, os nutrientes e a umidade. A temperatura também é um fator importante, principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos, porém é resultado da atividade biológica. Os nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio, são fundamentais ao crescimento bacteriano. O carbono é a principal fonte de energia e o nitrogênio é necessário para a síntese celular. Fósforo e enxofre também são importantes, porém seu papel no processo é menos conhecido.

Segundo o mesmo autor, os microrganismos têm necessidade dos mesmos micronutrientes requeridos pelas plantas. Cobre, níquel, molibdênio, ferro, manganês, zinco e

sódio são utilizados nas reações enzimáticas, porém os detalhes deste processo são poucos conhecidos.

À medida que o processo de compostagem se inicia, há proliferação de populações complexas de diversos grupos de microrganismos (bactérias, fungos), que vão se sucedendo de acordo com as características do meio. De acordo com as temperaturas ótimas, estes microrganismos são classificados em psicrófilos (0 a 20°C), mesófilos (15 a 43°C) e termófilos (40 a 85°C). As temperaturas ótimas, máximas e mínimas para as bactérias estão expressas na Tabela 3.

Tabela 3 – Faixas de temperaturas máximas, mínimas e ótimas para o desenvolvimento de dois grupos de bactérias, no processo de compostagem.

Bactérias	Temp. Mínima	Temp. ótima	Temp. máxima
Mesófilas	15 a 25	25 a 40	43
Termófilas	25 a 45	50 a 55	85

Fonte: KIEHL (1998)

Conforme descrito por ANDREOLI et al. (2002), no início do processo há um forte crescimento de organismos mesófilos. Com a elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população de mesófilos diminui e os microrganismos termófilos proliferam com mais intensidade. A população termófila é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos.

Quando o substrato orgânico é transformado, a temperatura diminui, a população termófila se inibe, a atividade biológica se reduz de maneira significativa e os mesófilos se instalam novamente. Nesta fase, a maioria das moléculas facilmente biodegradáveis já foi transformada, o composto apresenta odor mais agradável e já teve início o processo de humificação, típico da segunda fase do processo, denominada maturação.

Alguns parâmetros necessitam de controle durante o processo de compostagem, para obtenção de um bom composto orgânico.

Os principais aspectos relacionados ao processo de compostagem são abordados a seguir.

3.7.1 Aeração

Por ser um processo aeróbio, a presença de oxigênio durante o processo é essencial e sua ausência poderá comprometer o processo. Na fase inicial, a demanda por oxigênio é bem maior, pois a respiração microbiana é muito intensa.

O oxigênio precisa circular na massa do composto durante o processo, sendo muito importante a estrutura e a umidade dos materiais envolvidos.

Quando ocorre anaerobiose (ausência de oxigênio) no processo, tem-se a emanção de odores desagradáveis, peculiares a essa condição.

O lodo de esgoto apresenta aspecto pastoso, tendo a necessidade de ser misturado a outro material com granulometria mais grosseira, promovendo maior porosidade à mistura e assim maior circulação do ar.

3.7.2. Temperatura

A elevação da temperatura durante a compostagem é muito importante para a eliminação de organismos patogênicos, porém temperaturas acima de 65°C podem limitar a atividade biológica. A temperatura é um adequado meio de monitoramento do processo, pois é de fácil determinação e reflete a eficiência do sistema. Quando nos períodos iniciais da compostagem se registrarem temperaturas na faixa de 40-60°C, é sinal de que o ecossistema está em equilíbrio, caso contrário algum problema está ocorrendo com o processo de compostagem.

A aeração também é usada como meio de controle da temperatura. Em certos casos, o insuflamento de ar na massa em quantidade acima do necessário para a manutenção da vida biológica poderá funcionar como um dissipador de calor.

3.7.3. Umidade

A água é fundamental para a manutenção da vida e, na compostagem, tem papel muito importante. O teor ótimo situa-se entre 50 e 60% e poderá sofrer alterações em função

da porosidade da massa, onde, em teores acima de 65% têm-se os poros ocupados por água em vez de ar, provocando a anaerobiose. Teores de umidade abaixo de 40% ocasionarão uma redução da atividade microbiana e, conseqüentemente, da velocidade da biodegradação.

Durante o tempo de duração da compostagem, o teor de água poderá ser corrigido através de irrigações controladas.

3.7.4. Relação entre carbono e nitrogênio (C/N)

Tanto a falta de carbono como a do nitrogênio limita a vida microbiana, uma vez que o carbono funciona como fonte de energia e o nitrogênio para síntese protéica.

Na compostagem, a relação C/N ideal está na ordem de 30 e variações nesta relação poderão influenciar a biodegradabilidade dos resíduos. Relações C/N baixas levam a grande perda de nitrogênio por volatilização, enquanto relações C/N altas levam à baixa atividade microbiana pela dificuldade dos microrganismos sintetizarem proteínas.

Independentemente da relação C/N inicial de uma compostagem, no final se obterá um composto com relação C/N entre 10 e 20.

O lodo de esgoto é um resíduo rico em nitrogênio, apresentando relação C/N entre 5 e 11. Seu uso em compostagem requer um resíduo complementar, rico em carbono e pobre em nitrogênio, para que se obtenha uma mistura com relação C/N em torno de 20 ou 30.

3.7.5. Granulometria

Quanto menor a granulometria dos resíduos maior a superfície em contato com os microrganismos, porém com limitação do teor de oxigênio na mistura, pela porosidade.

De modo geral, o tamanho das partículas deverá estar entre 25 e 75mm para resultados satisfatórios.

Devido à granulometria fina do lodo, é necessária a combinação com resíduos mais grosseiros, permitindo assim uma boa porosidade do composto, da ordem de 30 a 36%.

3.7.6. Potencial hidrogeniônico – pH

Valores extremos de pH podem inibir a atividade microbiana. Logo no início da compostagem, observa-se uma ligeira queda no pH, entre 5,5 e 6,0, devido à produção de ácidos orgânicos.

A fase termófila é caracterizada por uma rápida elevação do pH, devido à hidrólise de proteínas e liberação de amônia, chegando a valores entre 7,0 e 9,0.

Quando a relação C/N é adequada, o pH geralmente não é um fator crítico da compostagem.

3.7.7. Resíduos estruturantes

O lodo de esgoto não possui características que o tornam um resíduo capaz de ser compostado sozinho. É necessário misturá-lo com outro resíduo, de características complementares, para que a mistura apresente as características ótimas para a compostagem.

Os resíduos estruturantes têm a função de conferir características estruturais adequadas à mistura a ser compostada. Quando misturados a lodo de esgoto, têm a função de absorver o excesso de umidade e equilibrar a relação C/N da mistura.

Um bom resíduo estruturante deve apresentar granulometria adequada para a difusão do ar na mistura, baixo teor de umidade para assim absorver a umidade do lodo e baixo teor de nitrogênio ou alto teor de carbono, para equilibrar a relação C/N.

3.7.8. Sistemas de compostagem

As diferentes tecnologias para o desenvolvimento do processo de compostagem variam de sistemas simples e manuais até sistemas automatizados e complexos. Porém, um bom composto pode ser obtido com qualquer nível de tecnologia, desde que os resíduos utilizados sejam adequados e os processos bem conduzidos.

Os processos de compostagem podem ser divididos em três grupos:

- Sistema de leiras revolvidas, onde a mistura de resíduos é disposta em leiras, sendo a aeração realizada através do revolvimento manual ou mecanizado para promover processos de difusão do ar na massa do composto.
- Sistema de leiras estáticas aeradas, em que a mistura a ser compostada é colocada sobre a tubulação perfurada que injeta ,ou aspira, o ar na massa do composto, não havendo o revolvimento das leiras.
- Reatores biológicos, onde os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados, que permitem o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido no Distrito Industrial Mogi Guaçu I, localizado na Rodovia SP-340 - km 176, município de Mogi Guaçu, interior do estado de São Paulo. A Figura 2 apresenta um croqui do local de instalação do experimento.

O local está georreferenciado com coordenadas UTM de 7.550.200m N e 289.120m E, altitude de 650m, apresentando uma precipitação média anual de 1300mm e temperatura média de 22°C, classificação climática Cwa, segundo Koppen. Os índices pluviométricos e as temperaturas médias observadas durante o período do experimento são apresentadas na Figura 3.

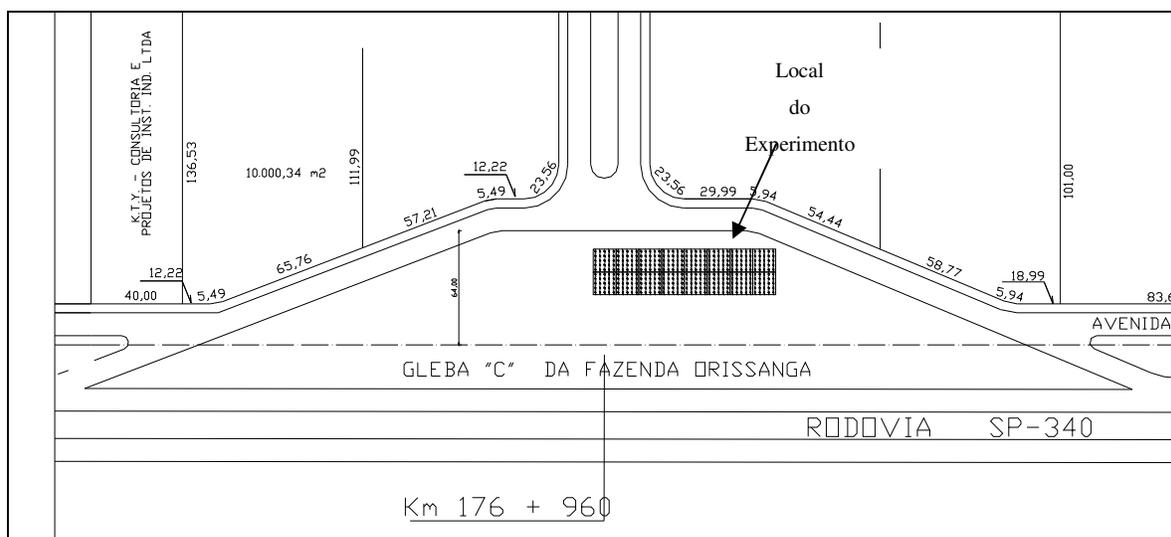


Figura 2 – Vista geral do local de implantação do experimento.

O local possui solo classificado por OLIVEIRA e MENK (1999), como um Latossolo Vermelho - Amarelo distrófico ou álico, textura argilosa leve (Tabela 4), e relevo plano com declividade menor que 3%; os materiais de origem deste solo são sedimentos referidos ao período geológico do Permo-Carbonífero e a vegetação original é a floresta

estacional semidecidual. É caracterizado como unidade Mato Dentro, por se apresentar muito profundo, com baixa fertilidade.

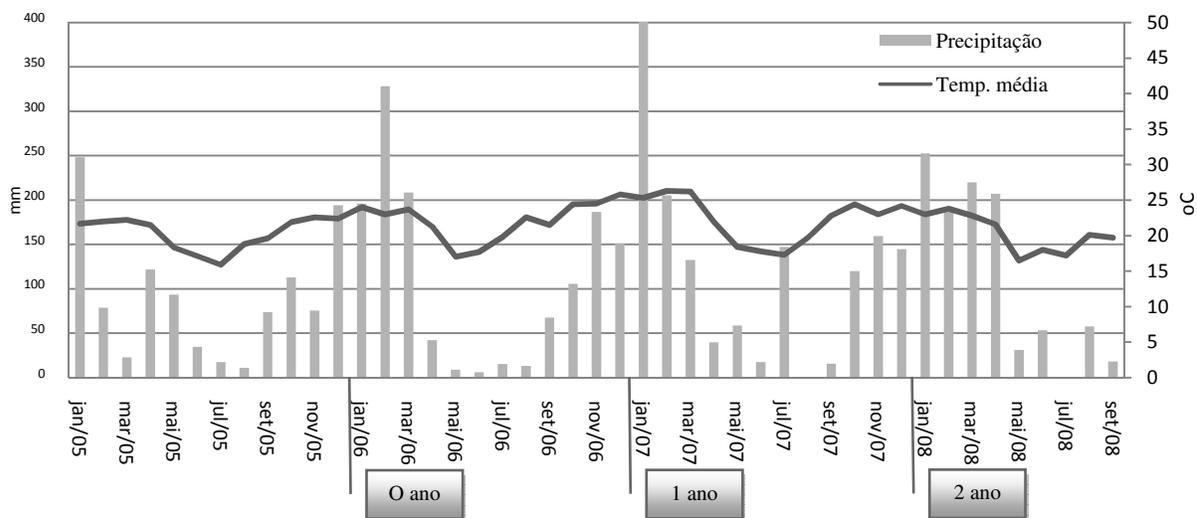


Figura 3 – Precipitação pluviométrica e temperaturas médias registradas em Mogi Guaçu no período de janeiro de 2005 a julho de 2008 e os períodos de amostragens.

Sua boa permeabilidade interna permite uma remoção adequada das águas da chuva, apesar da baixa declividade. A expressiva espessura confere à zona de aeração importante capacidade filtrante, apesar de indicar baixa capacidade adsortiva. Estima-se que esses solos apresentem menor perigo de contaminação dos aquíferos do que os de textura mais grosseira, podendo, portanto, ser considerados como adequados para receber a aplicação de resíduos.

A área do experimento apresenta o solo decapitado, pois sofreu a retirada de uma camada superficial de dois metros de espessura para a utilização em serviços de terraplenagem do local. A granulometria média do local, antes do preparo, é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Granulometria do solo da área experimental, antes do preparo, em duas profundidades.

Profundidade	AREIA	ARGILA	SILTE
	g/kg	g/kg	g/kg
0-0,20	400,4	481,1	118,5
0,20-0,40	429,9	470,1	100,0

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE MOGI GUAÇU – SP, (2005).

Com a remoção da camada fértil, a capacidade de sustentação de vegetação foi drasticamente reduzida, tornando o local quase árido, caracterizando-se como uma área degradada. Os dados médios de densidade, porosidade total, macro e microporosidade do solo antes do preparo são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade da área experimental antes do preparo, em duas profundidades.

Profundidade	Densidade	Porosidade total	Macroporosidade	Microporosidade
(m)	Kg.dm ⁻³	m ³ .m ⁻³	m ³ .m ⁻³	m ³ .m ⁻³
0-0,20	1,55	0,3738	0,0468	0,3271
0,20-0,40	1,50	0,3858	0,0348	0,3511

FONTE: PREFEITURA MUNICIPAL DE MOGI GUAÇU – SP, (2005).

O local do experimento pertence ao sistema de zonas verdes do parque industrial, glebas destinadas ao plantio de espécies arbóreas e composições paisagísticas, responsabilidade dos órgãos municipais competentes e está ilustrado na Figura 4.



Figura 4 – Vista do local de remoção da camada superficial do solo e vegetação existente.

A descrição do perfil do solo foi realizada através da observação de uma trincheira aberta no local e encontra-se no Quadro 6. O perfil do solo observado, com as definições dos horizontes está ilustrado na Figura 5.

Quadro 6 – Descrição do perfil do Latossolo Vermelho-Amarelo localizado na área experimental em Mogi Guaçu– SP

<p>Horizonte Ap 0-0,16(0,23)m Cor (solo seco): 5YR 4/4 Cor (solo úmido): 5YR 3/4 Textura fina Estrutura: Nitidamente deformada laminar (compactado) Porosidade: muito reduzida, poros finos Consistência: extremamente dura (solo seco)/extremamente firme (solo úmido) Plasticidade/pegajosidade: plástico e ligeiramente pegajoso. Limite ondulado claro</p>
<p>A/B 0,23-0,60m Cor (solo seco): 5YR 4/6 Cor (solo úmido): 5YR 3/4 Textura fina: Estrutura: blocos subangulares grandes forte (compactados) Porosidade: mais acentuada em relação ao A (quanto mais profundo, mais poroso que A) Consistência: extremamente dura (solo seco, mas menos que a anterior), firme (solo úmido) Plasticidade/pegajosidade: plástico e pegajoso. Limite plano gradual (há ainda compactação em parte de A/B = Ap)</p>
<p>Bw 0,60-1,00m(+) Cor (solo seco): 5YR 4/6 Cor (solo úmido): 5YR 3/4 Textura fina Estrutura: granular muito pequeno forte (microgranular = microagregado) Consistência: muito friável (solo úmido) Plasticidade/pegajosidade: plástico e muito pegajoso.</p>
<p>Obs. Não há raízes no perfil todo. Presença de carvões (no final) na base do horizonte A/A (possivelmente raízes queimadas no passado).</p>

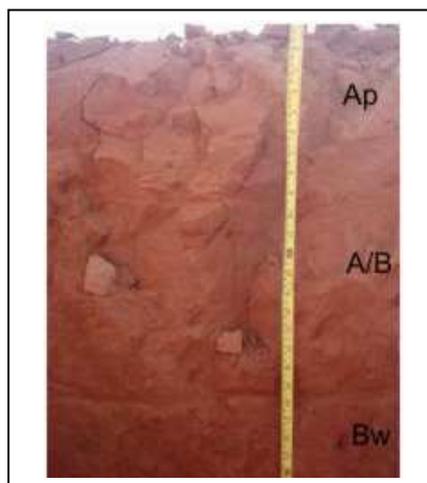


Figura 5 – Vista do perfil do solo em trincheira da área experimental.

4.2. Caracterização dos resíduos

Foi utilizado um composto orgânico obtido da compostagem de dois resíduos gerados no município de Mogi Guaçu: lodo de esgoto e resíduos de roçagens de gramíneas (gramatatais e *brachiaria* ssp.) de parques, praças, canteiros centrais de avenidas e jardins públicos.

4.2.1. Lodo de esgoto

O lodo de esgoto utilizado foi obtido na Estação de Tratamento de Esgoto pertencente ao distrito denominado Martinho Prado Júnior, localizado na zona rural do município de Mogi Guaçu, com uma população média de 6.000 habitantes. O sistema é o de lodos ativados por batelada (LAB) com aeração prolongada, composta de uma estação elevatória de esgoto bruto, uma unidade de gradeamento, caixa de areia, medidor Parshall, quatro tanques de aeração com capacidade total de 988m³, uma unidade de desidratação do lodo de esgoto e um laboratório de análises. Uma visão geral da estação e detalhamentos dos tanques de aeração e do sistema de prensagem está ilustrada na Figura 6. A estação apresenta uma produção diária média de 325kg de lodo (prensado) com 85% de umidade.



Figura 6 – Vista geral da estação de tratamento de esgoto (A), detalhe do filtro-prensa (B) e tanque de aeração (C), Distrito de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu– SP.

4.2.1.1. Caracterização química e agronômica do lodo de esgoto

A amostra de lodo foi submetida à análise química para determinação dos teores de metais pesados, macronutrientes, micronutrientes, sólidos voláteis, pH e umidade, realizada no Laboratório de Qualidade do Solo, no Centro de P&D de Solos e Recursos Naturais do Instituto Agronômico de Campinas – IAC, o qual utilizou os métodos de ensaio descritos abaixo.

Para metais: U.S. EPA, SW-846, método 3051, com determinação por fotômetro de chama para Na e K, para os demais metais, determinações por ICP-AES.

Para nitrogênio total: método Kjeldahl.

Para nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito: destilação por arraste a vapor.

Para carbono orgânico: digestão com dicromato e determinação volumétrica, segundo métodos descritos em RAIJ et al. (2001).

Para umidade e sólidos voláteis: perda de massa a 60° e 500 °C, respectivamente.

Para pH, determinação em extrato aquoso na proporção 1:5 (resíduo: água).

4.2.1.2. Análises microbiológica e parasitológica.

A análise microbiológica do lodo foi realizado pelo CEPPA – Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos – Curitiba – PR, o qual avaliou a concentração de coliformes fecais¹, o número de enterococos² e a presença de salmonela³.

Metodologias:

1 – HIGASKINO, Carmen E.K. et al. Determinação de Estreptococos fecais em amostras de lodo de esgoto. In: SANEPAR. Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. Curitiba. 1998. p. 51-58 (adaptado)

2 - HIGASKINO, Carmen E.K. et al. Determinação de coliformes fecais em amostras de lodo de esgoto por fermentação em tubos múltiplos. In SANEPAR. Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. Curitiba. 1998. p.43-50 (adaptado).

3 – ANDRAUS. Sumaia et al. Pesquisa de *Salmonella spp* em amostras de lodo de esgoto e solo: isolamento e identificação. IN: SANEPAR. Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. Curitiba. 1998. p.59-61.

A análise parasitológica foi realizada pelo Laboratório de Parasitologia Molecular da Universidade Federal do Paraná, para pesquisa e estudo da viabilidade de ovos de helmintos e utilizou a metodologia descrita em:

TOMAZ SOCCOL V.; CASTRO E. A.; PAULINO, R. In: SANEPAR, Manual de Métodos para Análises Parasitológicas em Reciclagem de Lodo, Curitiba, 2000, p.27-41.

4.2.2. Resíduos de roçagem

Os resíduos da roçagem de gramados de logradouros públicos municipais foram obtidos com a utilização de roçadeiras tratorizadas e roçadeiras motorizadas manuais, as quais promovem uma trituração das folhas das gramíneas em fragmentos de tamanhos diversos. Após a operação de roçagem, o material sofre uma secagem natural antes de ser coletado e disposto em áreas de depósito. Uma amostra do resíduo foi enviada para o Centro de Solos e Recursos Agroambientais do IAC para análise química, através da metodologia de digestão nítrica-perclórica.

4.3. Processo de compostagem

O método de compostagem adotado foi o de leiras revolvidas, que consiste em leiras nas quais o lodo misturado com o resíduo estruturante (material de roçagem) foi revolvido mecanicamente por uma pá carregadeira. O processo foi realizado no aterro municipal de Mogi Guaçu, em área onde não havia risco de contaminação de solo ou águas subterrâneas por lixiviados, devido ao sistema de drenagem e tratamento dos chorumes gerados no local (Figura 7).

Este processo apresenta baixo custo de implantação e bom controle da temperatura e aeração, o que resulta numa compostagem rápida, FERNANDES e SILVA (1999).



Figura 7 – Detalhe da mistura de lodo de esgoto com o resíduo estruturante (A), área de armazenamento de resíduos de roçagens (B), pá-carregadeira utilizada para revolvimento das leiras de compostagem (C) e leiras de compostagem no aterro municipal de Mogi Guaçu– SP em agosto de 2004 (D)

4.4. Instalação do experimento

4.4.1 Preparo da área e aplicação do composto

Foram estabelecidos quatro tratamentos com diferentes dosagens de aplicação de composto no solo e plantio de árvores nativas, com quatro repetições por tratamento, totalizando 16 parcelas, a saber:

T0 – Dosagem de 0 Mg.ha⁻¹ (base seca) e plantio

T1 – Dosagem de 20 Mg.ha⁻¹ (base seca) e plantio

T2 – Dosagem de 40 Mg.ha⁻¹ (base seca) e plantio

T3 – Dosagem de 80 Mg.ha⁻¹ (base seca) e plantio

O terreno foi subsolado com um subsolador com três hastes de 0,40m, tracionado por um trator MF-45 4x4 de 110cv de potência, (Figura 8).



Figura 8 – Operação de subsolagem do solo na área experimental, mostrando sua estrutura compactada.

As parcelas foram demarcadas com a dimensão de 10m x 10m, perfazendo 100m² por parcela, e uma área total experimental de 1600m² composta de 16 parcelas, segundo recomendação de IGUE e LASCA (1986).

O composto foi totalmente incorporado nas parcelas, antes do plantio das mudas, em três aplicações iguais e intervaladas de um mês cada uma. Não foram realizadas reaplicações do COLE (composto de lodo de esgoto) após o plantio.

A Tabela 6 contempla os valores das dosagens utilizadas no parcelamento mensal da aplicação do COLE, em três épocas distintas.

Tabela 6 – Dosagens de composto de lodo de esgoto, utilizadas nos tratamentos, parceladas em três vezes.

Tratamento	1 ^a aplicação	2 ^a aplicação	3 ^a aplicação	Total por Parcela (kg)	Mg.ha ⁻¹
	Ago/2005	Set/2005	Out/2005		
	Kg/parcela				
T0	0	0	0	0	0
T1	67	67	66	200	20
T2	134	134	133	400	40
T3	267	267	266	800	80

A distribuição do composto em cada parcela foi manual e a incorporação mecanizada, através de um gradeamento a 0,20m de profundidade. A Figura 9 retrata as aplicações parceladas e a operação de incorporação do COLE, realizada após cada parcelamento, com grade leve.



Figura 9 – Aplicações de composto de lodo de esgoto nas parcelas em ago/2005 (A), set/2005 (B) e out/2005 (C), incorporação com grade realizada após cada aplicação (D), Mogi Guaçu– SP.

4.4.2 Plantio das árvores

Após a incorporação total do composto, foi realizada a abertura das covas através de uma perfuratriz tratorizada. Obtendo-se uma cova cilíndrica de 0,40m de diâmetro e 0,50m de profundidade, totalizando um volume de 63 litros. A operação de plantio está ilustrada na Figura 10.

Não foi realizada complementação mineral nas parcelas, nem mesmo a incorporação de calcário.

Foram realizados os tratos culturais que se fizeram necessários, como capina manual, controle de pragas e doenças e irrigação das mudas.



Figura 10– Plantio das mudas na área experimental em dezembro de 2005, Mogi Guaçu–SP.

A metodologia utilizada no reflorestamento foi o plantio heterogêneo em modelo sucessional de espécies arbóreas nativas da região. Segundo proposta de MACEDO (1993), o espaçamento foi de dois metros entre linhas e dois metros entre plantas, obtendo-se uma densidade populacional de 2500 árvores/hectare. Neste método, uma linha de espécies pioneiras (PI) se alterna com uma linha de espécies não pioneiras (NP) representadas por secundárias iniciais (S1), tardias (S2) e climácicas (C). Estas foram distribuídas em uma proporção de 50% pioneiras, 25% secundárias iniciais, 15% secundárias tardias e 10% de climácicas, trabalhando-se com 20 espécies diferentes no total.

Como cada parcela comportou um total de 25 plantas, tem-se em cada uma: 12 pioneiras, seis secundárias iniciais, quatro secundárias tardias e três climácicas. O plantio dos dois grupos de plantas (PI e NP) foi simultâneo e a distribuição das mudas nas linhas foi sistemática numa seqüência pré-estabelecida. O esquema adotado está mostrado na Figura 11.

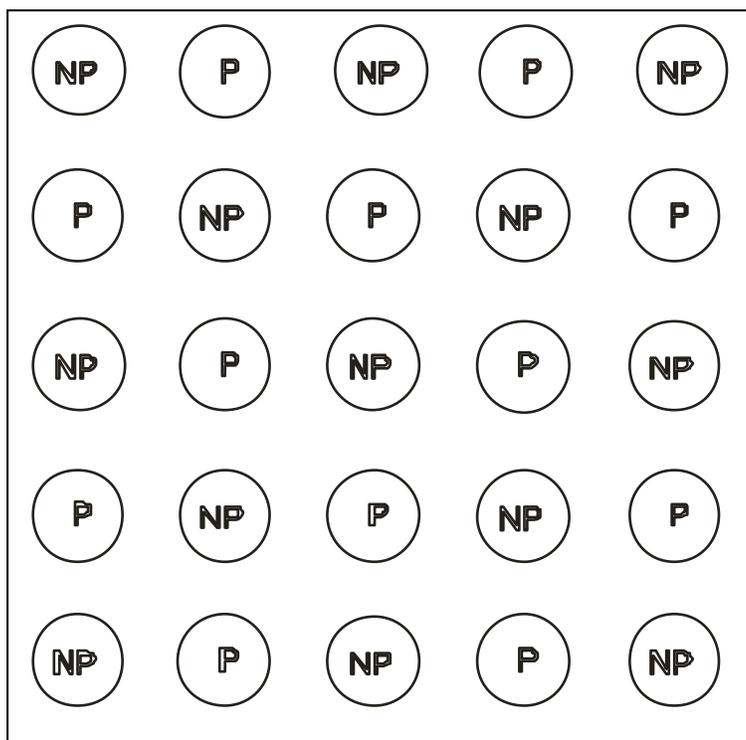


Figura 11 – Esquema de plantio heterogêneo utilizado, proposto por MACEDO et al. (1993), utilizando espécies pioneiras (PI) e não-pioneiras (NP).

As espécies utilizadas tiveram suas mudas produzidas no Viveiro Florestal da Faculdade Municipal Prof. Franco Montoro - FMPFM - e foram escolhidas em função da disponibilidade no viveiro no momento do plantio, uma vez que a produção depende da coleta de sementes e nem sempre se tem uma regularidade das espécies produzidas. Estas espécies pertencem naturalmente à região.

A obtenção das sementes é uma operação crítica em um viveiro de produção de essências florestais, pela dificuldade da coleta. As mudas apresentavam desenvolvimento uniforme dentro de cada espécie.

As espécies utilizadas e produzidas no Viveiro da FMPFM e seus respectivos estágios sucessionais encontram-se descritas no Quadro 7.

Quadro 7 – Espécies florestais utilizadas e produzidas no Viveiro de produção de mudas da FMPFM e seus respectivos estágios sucessionais.

Nome comum	Nome científico	Estágio de sucessão
Canela	<i>Nectranda megapotamica</i>	S2
Cedro	<i>Cedrella fissilis</i>	S2
Jatobá	<i>Hynennea courbaril</i>	C
Jequitibá-rosa	<i>Cariniana legalis</i>	S2
Cabreúva vermelha	<i>Myrsoxylon peruiferum</i>	S2
Baba de boi	<i>Cordia myxa</i>	P
Angico	<i>Anadenanthera falcata</i>	P
Ingá	<i>Inga vera</i>	S1
Paineira	<i>Chorisia speciosa</i>	P
Ipê roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	S1
Coração de negro	<i>Poecilanthe parviflora</i>	C
Louro pardo	<i>Cordia trichotoma</i>	S1
Farinha seca	<i>Albizia polycephala</i>	P
Araçá	<i>Psidium cattleianum</i>	S1
Café de bugre	<i>Cordia ecalyculata</i>	S2/C
Aroeira Pimenteira	<i>Pera obovata</i>	S2
Canafístula	<i>Cassia ferruginea</i>	S1
Gabiroba	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	S1
Aroeira pimenteira	<i>Schinus terenbinthifolius</i>	P
Peroba branca	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	S2

(P= pioneira; S1=secundária inicial; S2=secundária tardia; C=climácica)

4.5. Amostragem do solo

Para as amostras destinadas às análises químicas, foram realizadas coletas de 0-0,20m e 0,20-0,40m de profundidade, sendo coletadas por parcela e por profundidade 12 subamostras, compondo duas amostras compostas por parcela. Para análise de nitrato foram coletadas amostras a 0,40m de profundidade.

As amostragens foram realizadas antes da implantação do experimento, antes do plantio, um ano após o plantio das mudas e no final de dois anos do plantio. A análise de nitrato foi realizada logo após o plantio.

Para as amostras destinadas às análises físicas, foram realizadas coletas a partir do método do anel volumétrico, nas profundidades de 0–0,20m e 0,20-0,40m, com três repetições por parcela, em quatro épocas distintas, antes da implantação, após o plantio e anualmente, até a finalização dois anos após o plantio.

4.6. Métodos analíticos

4.6.1. Análise do composto

A caracterização analítica do composto pronto foi efetuada no Laboratório de Qualidade do Solo – CPD de Solos e Recursos Naturais - IAC, onde foram analisados os seguintes parâmetros: pH em água, umidade, sólidos voláteis, carbono orgânico, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato-nitrito, fósforo, potássio, cálcio, enxofre, magnésio, boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, sódio, alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio, níquel, selênio e condutividade elétrica.

A análise para verificação da redução de patógenos pelo processo de compostagem foi realizada na Universidade Federal do Paraná, através de metodologia utilizada para o lodo de esgoto.

4.6.2 Granulometria do solo

A distribuição das partículas do solo (areia, silte e argila) nas diferentes profundidades do solo foi determinada a partir da TFSA – terra fina seca ao ar, utilizando o método da pipeta, nas dependências do laboratório de solos da FEAGRI/UNICAMP.

4.6.3 Porosidade e densidade do solo

A porosidade total, macroporosidade e microporosidade em porcentagens, foram determinadas segundo métodos recomendados por VOMOCIL (1965) e LEANER&SHAW (1941), modificados por KIEHL (1979), pelo método da mesa de tensão. Para a determinação da densidade global foi utilizado o método de BLAKE (1965). Estes testes foram realizados no laboratório de solos da FEAGRI/UNICAMP.

4.6.4 Distribuição e estabilidade dos agregados

A distribuição e estabilidade dos agregados foram obtidas a partir do método descrito por KIEHL (1979), utilizando peneira, para agitação dos agregados em água, possibilitando cálculos da porcentagem destes em cada peneira, bem como o diâmetro médio ponderado, que oferece indicação da estabilidade dos agregados. Estes testes foram realizados no Laboratório de Solos da FEAGRI/UNICAMP.

4.6.5 Condutividade elétrica do solo

Para avaliação da condutividade elétrica do solo, foi preparada uma amostra com solo coletado na profundidade de 0-20m e outra na profundidade de 0,20-0,40m. Foi adicionada água destilada em 100g de TFSA (Terra fina seca ao ar), movimentando-se até ponto desejado. Após, a amostra descansou coberta com papel alumínio por 24 horas, sendo então succionada a solução sobrenadante e feita a medida direta por um condutímetro, (EMBRAPA,1979).

4.6.6 Complexo sortivo do solo

Foram realizadas as seguintes avaliações químicas: fósforo-resina (mg.dm^{-3}), matéria orgânica (g.dm^{-3}), índice de acidez (pH CaCl_2), potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases e micronutrientes (menos boro). As análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade do Solo do IAC, segundo metodologia de RAIJ e QUAGGIO (1983).

4.6.7 Nitrato

Logo após o plantio, foram realizadas amostragens na profundidade de 0,20-0,40m nas parcelas, para fim de análise do teor de nitrato do solo e avaliação de sua lixiviação. Esta análise foi realizada no Laboratório de Qualidade do Solo do IAC, através da destilação por arraste a vapor e quantificação por volumetria.

4.7. Avaliação do desenvolvimento das árvores

Foi avaliada a altura das plantas, o diâmetro do fuste a 0,30m do solo, o maior e o menor diâmetro da copa utilizando-se trena e paquímetro para cada espécie utilizada, para então se determinar os seguintes índices:

4.7.1. Altura média (AM)

A altura média das árvores, para cada parcela, foi calculada pela fórmula:

$$Hm = \left(\sum_{i=1}^n Hi \right) / N$$

Hm = altura média (m)

Hi = altura individual das árvores (m)

N = número de indivíduos da parcela

4.7.2. Diâmetro médio (DM)

O diâmetro médio do caule, para cada parcela, foi calculado pela fórmula:

$$Dm = \left(\sum_{i=1}^n Di \right) / N$$

Dm = diâmetro médio (mm)

Di = diâmetro individual do caule das árvores (mm)

N = número de indivíduos da parcela

4.7.3. Índice de cobertura das copas (ICC)

A cobertura foi estimada pela projeção das copas, utilizando-se a fórmula:

$$Icp = \left\{ \sum_{i=1}^n (\pi * di^2 / 4) / S \right\} / N$$

ICC = cobertura do terreno pela copa

di = média de dois diâmetros transversais individuais das árvores (m)

N = número de indivíduos da parcela

S = área do terreno ocupada por árvore, definida pelo produto do espaçamento (m²)

O índice de cobertura das copas, que é a relação entre a área foliar total e a área de solo disponível para as plantas, é apropriado quando se estudam comunidades vegetais e demonstra a capacidade de sombreamento das espécies utilizadas, capacidade esta essencial para modelos sucessionais de repovoamentos florestais, segundo BENINCASA (1988). As determinações nas árvores foram realizadas após o plantio, no primeiro e segundo anos pós-plantio.

4.8. Delineamento estatístico

O delineamento estatístico utilizado foi o de parcelas subdivididas e blocos ao acaso, com quatro tratamentos e quatro repetições, totalizando 16 parcelas, conforme mostrado na

Figura 12. Utilizou-se o software SISVAR para processamento dos dados. O teste F foi aplicado. Quando constatada interação significativa, as médias foram testadas dentro de doses, por modelos de regressão polinomial de 1º, 2º ou 3º grau e dentro de períodos através do teste de Tukey a $P \leq 0,05$.

T3 BLOCO IV	T2 BLOCO IV	T0 BLOCO IV	T1 BLOCO IV	T0 BLOCO III	T3 BLOCO III	T1 BLOCO III	T2 BLOCO III
T0 BLOCO I	T1 BLOCO I	T2 BLOCO I	T3 BLOCO I	T2 BLOCO II	T1 BLOCO II	T3 BLOCO II	T0 BLOCO II

Figura 12 – Esquema de distribuição dos quatro tratamentos e quatro repetições dentro dos quatro blocos.

Na testemunha não foi aplicado o composto. Cada parcela de 10m x 10m comportou 25 plantas com espaçamento de 2m x 2m. Dispensando as bordaduras (dois metros de cada lado) obteve-se uma área útil de 36m², com nove árvores inseridas, área e plantas que foram utilizadas nas amostragens. A Figura 13 mostra um esquema de plantio em uma parcela do experimento.

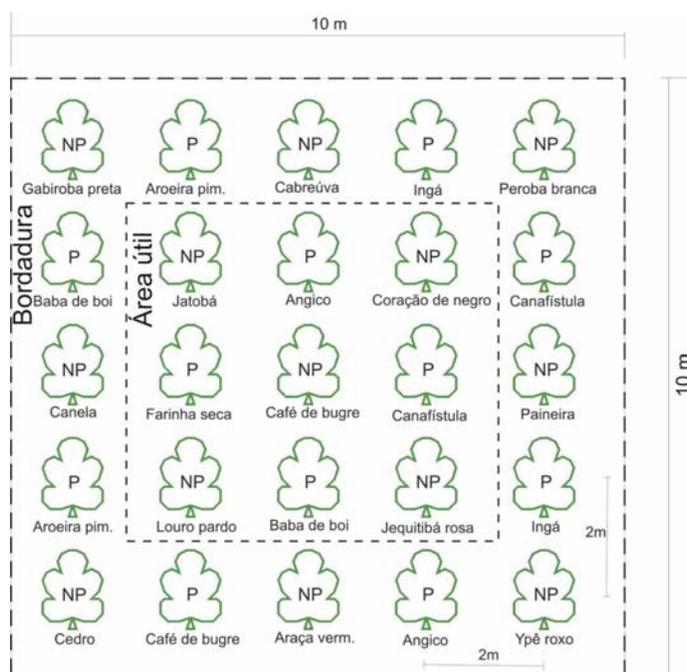


Figura 13 – Esquema de uma parcela, delimitando o espaçamento de plantio, as bordaduras e as espécies utilizadas (NP = Não pioneira P = Pioneira).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Lodo de Esgoto

5.1.1. Caracterização Agronômica

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos na caracterização agronômica do lodo de esgoto de Martinho Prado Júnior, realizada pelo Laboratório de Qualidade do Solo no Centro de P&D de Solos e Recursos Naturais do Instituto Agronômico de Campinas – IAC.

O lodo de esgoto contém todos os nutrientes essenciais e benéficos para o desenvolvimento dos vegetais, sendo sua utilização potencial para o uso em aplicações no solo, seja como condicionador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, seja como substituto, pelo menos em parte, dos fertilizantes minerais em uso atualmente (BETTIOL e CAMARGO, 2000).

Tabela 7 - Caracterização agronômica do lodo de esgoto gerado na ETE – Martinho Prado Júnior – Mogi Guaçu– SP, 2004.

ATRIBUTOS	UNIDADE	RESULTADO
Fósforo	g/kg	11,1
Potássio	g/kg	1,5
Sódio	g/kg	0,3
Boro	mg/kg	2,3
Carbono orgânico	g/kg	356,3
pH	-	7,1
Umidade	%	87,8
Sólidos voláteis	%	60,6
Nitrogênio total	g/kg	50,4
Nitrogênio amoniacal	mg/kg	365,3
Nitrogênio nitrato-nitrito	mg/kg	12,0
Enxofre	g/kg	7,0
Manganês	mg/kg	108,2
Ferro	g/kg	24,9
Magnésio	g/kg	1,5
Alumínio	g/kg	12,1
Cálcio	g/kg	10,6

5.1.2. Caracterização química

Por ser proveniente de efluente predominantemente doméstico, o lodo de esgoto apresentou os teores de metais pesados baixos, quando comparados com os teores máximos preconizados na legislação para utilização em áreas agrícolas (CONAMA, 2006). A Tabela 8 mostra as concentrações de metais pesados e arsênio do lodo utilizado, conforme o Laboratório de Qualidade do Solo no Centro de P&D de Solos e Recursos Naturais do Instituto Agronômico de Campinas – IAC, com relação aos metais pesados, em comparação com os valores máximos permitidos pelo CONAMA (2006).

Tabela 8 – Concentração de metais pesados e arsênio no lodo de esgoto da ETE de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu – SP (2004), em comparação com a concentração máxima permitida pelo CONAMA (2006).

Elementos	Unidade	Concentração Lodo Martinho Prado Júnior	Concentração máxima Resolução CONAMA (2006)
Arsênio	mg/kg	<0,01	41
Cádmio	mg/kg	1,5	39
Chumbo	mg/kg	45,6	300
Cobre	mg/kg	219,0	1500
Cromo	mg/kg	25,2	1000
Mercúrio	mg/kg	<0,01	17
Molibdênio	mg/kg	<0,01	50
Níquel	mg/kg	13,4	420
Selênio	mg/kg	<0,01	100
Zinco	mg/kg	550,0	2800

5.1.3. Caracterização microbiológica

Os resultados microbiológicos encontram-se na Tabela 9 e indicam que, de acordo com a norma CONAMA (2006), o lodo não pode ser aplicado diretamente ao solo e está classificado como “classe B”. O lodo de esgoto contém uma diversificada variedade de microrganismos saprófitas e patogênicos. A presença de agentes patogênicos no lodo reflete as características sanitárias da população envolvida e sua quantidade depende das fases de separação da parte líquida e sólida do efluente, da capacidade de se agregar de cada

microrganismo e dos processos de tratamentos que o lodo foi submetido. (SOCCOL e PAULINO, 2000)

Tabela 9 – Resultados da análise microbiológica para detecção de bactérias patogênicas no lodo do distrito de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu – SP, em 2004.

AGENTES PATOGÊNICOS	
Contagem de enterococos NMP/g ST ⁽¹⁾	1,1 x 10 ⁶
Contagem de coliformes fecais NMP/g ST ⁽²⁾	4,6 x 10 ⁵
Pesquisa de <i>Salmonella sp</i> /25g ⁽³⁾	presença

5.1.4. Caracterização parasitológica

A Tabela 10 apresenta os resultados das análises parasitológicas para o lodo de esgoto de Martinho Prado Jr, onde se observa a presença de ovos viáveis e inviáveis de alguns helmintos, bem como cistos de protozoários.

A simples presença de vírus, protozoários e bactérias não garante a infecção de humanos e animais, é necessária uma dose mínima infectante - DMI. Para os helmintos, esta dose é de apenas um ovo viável (ovo embrionado para uns e larvas filarióides para outros) (SOCCOL e PAULINO, 2000).

Tabela 10 – Resultados da análise parasitológica para detecção de ovos de helmintos e protozoários no lodo do distrito de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu– SP, em 2004.

HELMINTO	MÉDIA POR GRAMA		TOTAL
	Nº ovos viáveis	Nº ovos inviáveis	
<i>Ascaris sp</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Toxocara sp</i>	0,00	0,10	0,10
<i>Trichuris trichiura</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Trichuris vulpis</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,10	0,10
<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,10	0,30	0,40
<i>Hymenolopis nana</i>	0,10	0,00	0,10
TOTAL GERAL	0,20	0,50	0,70
PROTOZOÁRIOS			0,60

A densidade de coliformes fecais encontrada foi de 460.000 NMP/g, o que classifica o lodo da ETE de Martinho Prado Jr como Classe B, permitindo assim seu uso no reflorestamento. Porém, a própria legislação determina um prazo após sua homologação, onde somente poderá ter uso agrícola o lodo de esgoto e seus derivados pertencentes à Classe A CONAMA (2006).

Os resultados apresentados pelo lodo da ETE de Martinho Prado Junior justificam a utilização da compostagem como método de redução adicional de patógenos para sua posterior aplicação no solo.

5.2. Caracterização do Resíduo Estruturante

Os resultados da caracterização agronômica dos resíduos de roçagens utilizados na compostagem são apresentados na Tabela 11. Os valores estão dentro das características normais encontrados na literatura para esta classe de resíduos. Segundo KIEHL (1985), os restos vegetais, de maneira geral, seriam melhores aproveitados no preparo de compostos orgânicos, pois são ricos em celulose e pobres em nitrogênio.

Tabela 11 – Caracterização agronômica dos resíduos de roçagens de áreas verdes do município de Mogi Guaçu– SP, no ano de 2004.

ATRIBUTOS	UNID	VALOR
Umidade	%	12,0
Carbono orgânico	g/kg	435,0
Nitrogênio total	g/kg	11,3
Fósforo	g/kg	0,6
Potássio	g/kg	11,5
Cálcio	g/kg	3,3
Enxofre	g/kg	1,0
Magnésio	g/kg	1,8
Boro	mg/kg	8,0
Cobre	mg/kg	35,6
Ferro	mg/kg	1955
Manganês	mg/kg	128
Zinco	mg/kg	16,2

5.3. Compostagem

De acordo com a relação entre o teor de carbono (C) e nitrogênio (N) dos resíduos, apresentadas na Tabela 12, foi realizada a mistura na proporção de uma parte de lodo de esgoto para 5,86 partes de resíduo estruturante, ambos na base seca, dessa forma foi obtida uma relação C/N na ordem de 25 e para permitir maior eficiência do processo de compostagem. O teor de umidade da mistura foi controlado para cerca de 60%, mantendo este valor com irrigações das leiras, quando necessárias (KIEHL, 1998).

Tabela 12 – Relação entre o teor de nitrogênio e carbono dos resíduos utilizados no processo de compostagem em Mogi Guaçu– SP, (2004).

RESÍDUO	C g/kg	N g/kg	RELAÇÃO C/N
Lodo de esgoto	356,4	50,4	7,25
Resíduos de roçagens	435,0	11,3	38,5
Mistura	--	--	25,0

5.3.1. Temperatura

Após a mistura dos resíduos, monitorou-se a temperatura das leiras, observou-se que estas permaneceram na fase mesofílica (acima de 40 graus) por um período médio de 35 dias, atingindo temperatura maior que 55° (fase termofílica), por um período maior que 15 dias (Figura 14). A rápida elevação da temperatura no início do processo demonstra que os materiais utilizados são ricos em proteínas e componentes facilmente biodegradáveis e que o balanceamento da relação C/N realizado foi adequado. O desempenho observado na compostagem caracteriza-a como um processo de redução adicional de patógenos, condição necessária para a obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo A (CONAMA, 2006).

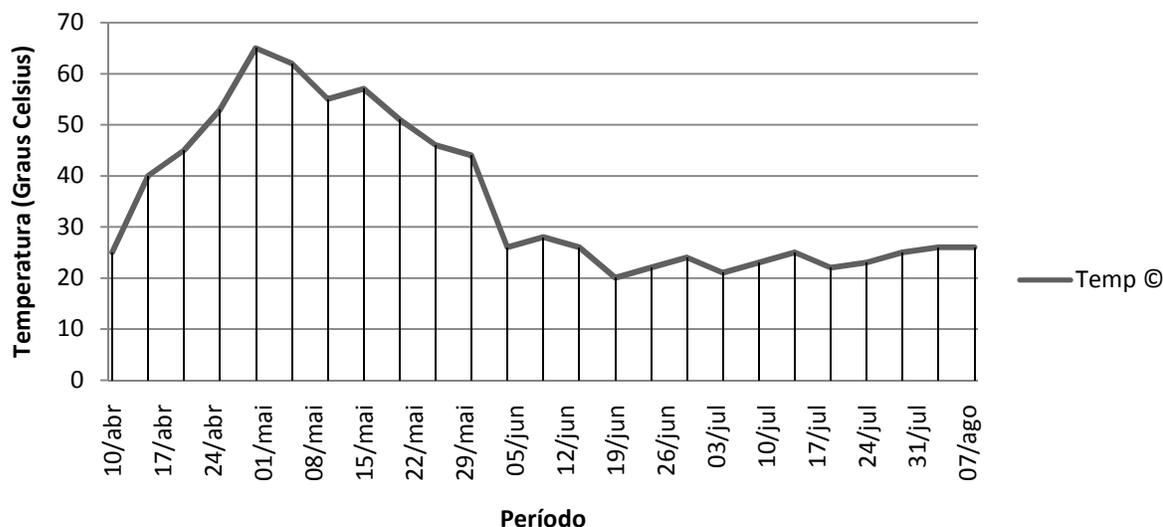


Figura 14 – Variação média da temperatura das leiras durante o processo de compostagem de lodo de esgoto e resíduos de roçagens, realizados em Mogi Guaçu-SP (2005).

5.4. Composto de lodo de esgoto e resíduos de roçagens (COLE)

5.4.1. Caracterização agronômica do COLE

O COLE (Tabela 11) atende o previsto na legislação (CONAMA, 2006) e também o disposto no Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

Conforme ilustrado na Tabela 13, no que se refere ao teor mínimo de nitrogênio, o COLE produzido apresentou teor de 7,9g/kg, classificando-o dentro da faixa permitida. A relação entre o teor de sólidos voláteis e totais apresentados foi inferior a 0,70, conferindo ao COLE a característica de um composto bioestabilizado, segundo CONAMA (2006).

A relação C/N do COLE foi de 9,53 a qual, segundo KIEHL (1985), é considerada ótima para compostos orgânicos. Valores baixos de C/N, entre 8 e 12, indicam um maior potencial de suprimento de nitrogênio ao solo e conseqüentemente um maior risco de contaminação de águas subterrâneas pela lixiviação de nitrato (MELO et al. ,2008). Conforme

mostrado na Tabela 13, o teor de nitrogênio nitrato-nitrito foi maior que o amoniacal, demonstrando a maturação do composto pelo processo de nitrificação (KIEHL, 1998).

Os teores dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre e magnésio) apresentaram níveis baixos para fertilizantes orgânicos, de acordo com KIEHL, (1985).

Tabela 13 - Caracterização agrônômica do composto de lodo de esgoto e resíduos de roçagens, produzido no município de Mogi Guaçu- SP no ano de 2004.

ATRIBUTOS	UNID	VALOR
pH (em água)	-	6,0
Umidade	%	18,3
Sólidos voláteis	%	18,1
Carbono orgânico	g/kg	75,3
Nitrogênio total	g/kg	7,9
Nitrogênio amoniacal	mg/kg	7,0
Nitrogênio nitrato-nitrito	mg/kg	23,3
Fósforo	g/kg	1,6
Potássio	mg/kg	1377
Cálcio	g/kg	2,4
Enxofre	g/kg	1,0
Magnésio	g/kg	0,86

5.4.2. Caracterização Química do COLE

A Tabela 14 expressa os resultados da caracterização química do COLE, onde os teores de metais pesados encontravam-se dentro dos limites permitidos (CONAMA, 2006). Observa-se que no COLE, os teores de metais pesados foram menores que no lodo de esgoto, possivelmente em função da diluição pelo processo de compostagem com os resíduos de roçagens. Também a humificação e quelatização ocorrida durante a compostagem pode explicar a redução.

Somente os teores de manganês, níquel e molibdênio que aumentaram no composto, em comparação ao lodo de esgoto in natura.

Uma situação similar foi observada por GOUVÊA e NETO (1997). Esses autores verificaram redução dos metais estudados na fração trocável (disponível), sendo observado que durante a fase de maturação, a redução dos metais foi mais pronunciada nesta fração. Este fato revela o risco decorrente da utilização de um composto, que não apresenta um adequado grau de maturação. Dessa forma, um composto maturado de lodo de esgoto diminui o risco de contaminação ambiental imediata, devido a diminuição da disponibilidade dos metais, concluindo que estes elementos ficaram na forma potencialmente disponíveis (em outras frações), em virtude da ocorrência da precipitação a óxidos e hidróxidos de ferro e manganês e formação de humatos metálicos (quelatos).

Tabela 14 - Caracterização química do composto de lodo de esgoto e resíduos de roçagens, produzido no município de Mogi Guaçu– SP no ano de 2004.

PARÂMETRO	UNID	VALOR
Alumínio	mg/kg	9203
Arsênio	mg/kg	ND
Boro	mg/kg	ND
Cádmio	mg/kg	ND
Chumbo	mg/kg	ND
Cobre	mg/kg	31,5
Cromo Total	mg/kg	ND
Ferro	mg/kg	9716
Manganês	mg/kg	127,8
Mercúrio	mg/kg	ND
Molibdênio	mg/kg	7,9
Níquel	mg/kg	16,3
Selênio	mg/kg	ND
Sódio	mg/kg	5,6
Zinco	mg/kg	97,4

ND – Não detectado

As dosagens de aplicação do COLE no solo não ultrapassaram os valores máximos permitidos pela legislação, conforme visto na Tabela 15, em função dos baixos teores de metais pesados presentes no composto.

Experiências com a aplicação de lodo de esgoto e o aporte de metais pesados em solos encontrados na literatura relatam um baixo risco de contaminação. SILVA et al., (2001)

testando o uso do lodo em um argissolo, observaram que o lodo aumentou os teores de metais pesados do solo, mas estes permanecem abaixo dos valores considerados perigosos ao ambiente e permitidos pela legislação. CHIBA et al. (2008) observaram que a utilização de lodo de esgoto em um argissolo cultivado com cana-de-açúcar não resultou em aumento nos teores de Cd, Cr, Ni e Pb no solo e na planta. Resultados similares foram obtidos por NASCIMENTO et al. (2004).

Tabela 15 – Quantidade de metais pesados adicionados ao solo pelas diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto, em comparação aos teores máximos preconizados pela resolução CONAMA, (2006).

Elementos químicos	20	40	80	Limite Máximo CONAMA (2006)
	(Mg/ha ⁻¹)	(Mg/ha ⁻¹)	(Mg/ha ⁻¹)	
	kg/ha			
Cobre	0,63	1,26	5,04	137,00
Molibdênio	0,15	0,30	0,59	13,00
Níquel	0,33	0,65	1,30	174,00
Zinco	1,95	3,90	7,79	445,00

5.4.3. Caracterização microbiológica do COLE

Em relação à caracterização microbiológica, os valores observados na Tabela 16 confirmam a eficiência da compostagem como um processo adicional de redução de patógenos. A contagem de coliformes fecais e enterococos foram reduzidas, quando comparadas com os valores originais do lodo de esgoto. A pesquisa de salmonelas foi negativa, indicando sua ausência no COLE.

5.4.4. Caracterização parasitológica do COLE

Conforme ilustrado na Tabela 17, verifica-se que o processo de compostagem eliminou 100% dos ovos viáveis dos helmintos estudados, sendo encontrados somente ovos inviáveis; resultados similares foram descritos por CORRÊA et al. (2007).

Tabela 16 – Resultados da análise microbiológica para detecção de bactérias patogênicas no composto de lodo de esgoto do distrito de Martinho Prado Júnior. Mogi Guaçu- SP em 2004.

Ação	Unidade	Valor
Contagem de coliformes fecais	NMP/g ST	3,6
Contagem de enterococos	NMP/g ST ⁽²⁾	< 3,0
Pesquisa de salmonela	Sp/25 g ⁽³⁾	Ausência

NMP/g ST – Número mais provável por grama de sólidos totais; Sp – espécimes

A eficiência da compostagem para eliminação de organismos patogênicos depende dos níveis de temperatura alcançados, uma vez que o calor destrói a maioria destes organismos, conforme visto no Quadro 4, dependendo também de uma perfeita homogeneização do composto, durante as operações de revolvimento da leira, evitando-se assim que parte da mistura fique fora do processo, não sofrendo assim a desinfecção.

Os resultados obtidos classificam o composto como classe A, segundo CONAMA (2006), pois apresentou a contagem de coliformes fecais e o número de ovos de helmintos viáveis abaixo do limite máximo permitido, bem como a ausência de salmonelas, conforme mostrado na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados da análise parasitológica para detecção de ovos de helmintos e protozoários no composto de lodo de esgoto do distrito de Martinho Prado Júnior, Mogi Guaçu- SP, em 2004.

HELMINTO	MÉDIA DO N° DE OVOS		TOTAL
	Viáveis	Inviáveis	
<i>Ascaris sp</i>	0	0,08	0,08
<i>Toxocara sp</i>	0	0,02	0,02
<i>Trichuris trichiura</i>	0	0	0
<i>Trichuris vulpis</i>	0	0	0
<i>Trichuroidea</i>	0	0	0
<i>Hymenolepis diminuta</i>	0	0	0
TOTAL GERAL	0	0,10	0,10
PROTOZOÁRIOS			0,00

5.5. Granulometria do solo

Não houve diferenças significativas nos teores de areia, argila e silte no solo das parcelas que receberam diferentes doses de composto de lodo de esgoto, quando comparados com a parcela que não recebeu o COLE. Alterações na granulometria do solo não são comuns em curtos períodos de tempo, sendo este um processo bastante lento.

A granulometria do solo das parcelas, nas profundidades estudadas esta apresentada na Tabela 18.

Tabela 18 – Granulometria do solo das parcelas experimentais, em duas profundidades, após a aplicação do composto de lodo de esgoto em Mogi Guaçu-SP, 2005.

Camadas (m)	0	20	40	80	0	20	40	80	0	20	40	80
	(Mg.ha ⁻¹)											
	Areia				Argila				Silte			
	g/kg											
0-0,20	381,3A	386,7A	381,5A	385,3A	504,3A	504,4A	490,8A	500,0A	112,8A	108,9A	127,8A	114,8A
Prob F	NS				NS				NS			
CV	3,61				2,23				20,53			
0,20-0,40	384,1A	377,7A	385,8A	384,2A	501,1A	499,8A	499,4A	501,8A	114,9A	122,5A	114,8A	114,1A
Prob F	NS				NS				NS			
CV	3,76				3,34				24,29			

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total.

5.6. Densidade do solo

A Tabela 19 apresenta os resultados da densidade do solo decapitado, até dois anos após a aplicação das dosagens de COLE e implantação do reflorestamento. As doses de COLE utilizadas não afetaram significativamente a densidade nas duas profundidades estudadas durante o período de duração do experimento, em comparação com a testemunha.

A mesma situação foi observada por ANDRADE et al. (2005) que determinando o efeito da aplicação em cobertura de doses de um lodo de esgoto alcalino após cinco anos, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico cultivado com eucalipto, relataram que não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para a densidade do solo do experimento até a profundidade de 0,60m. Os resultados também corroboram com o experimento de BOEIRA E SOUZA (2007) e JORGE et al. (1991). Também MARCIANO

(1999) em estudos sobre a aplicação de alguns resíduos urbanos durante dois anos em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, mostrou que a aplicação de até 212Mg.ha⁻¹ de lodo de esgoto digerido anaerobicamente reduziu a densidade e aumentou a porosidade total do solo trabalhado.

Na camada de 0 a 0,20m observou-se que logo após as aplicações, obtiveram-se as menores densidades e que estas aumentaram até dois anos após, sendo significativamente maiores. Na camada de 0,20 a 0,40m não houve alterações na densidade do solo durante o tempo de estudo nas doses de COLE aplicadas (Tabela 19).

Tabela 19 - Densidade do solo nas profundidades de 0-0,20m e 0,20-0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.

Dosagem de Aplicação (Mg.ha ⁻¹)	Densidade do solo – (0-0,20m)		
	0 ano	1 ano	2 ano
	-----Kg.dm ⁻³ -----		
0	1,28	1,34	1,38
20	1,33	1,37	1,33
40	1,29	1,33	1,42
80	1,28	1,37	1,45
Média	1.30B	1.35A	1.40A
Dose Período Dose x Período		Prob F	CV
		NS	9,57
		**	7,55
		NS	----
	Densidade do solo – (0,20-0,40m)		
	0 ano	1 ano	2 ano
	-----Kg.dm ⁻³ -----		
0	1,39	1,48	1,37
20	1,43	1,44	1,42
40	1,39	1,49	1,42
80	1,46	1,45	1,42
Média	1.42A	1.47A	1.41A
Dose Período Dose x Período		Prob F	CV
		NS	14,61
		NS	8,46
		NS	----

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total.

Os efeitos observados na densidade do solo na camada de 0-0,20m, independente da dosagem de COLE, provavelmente deveram-se ao preparo do solo com subsolagem e as operações com grades realizadas durante as incorporações do composto, as quais promoveram um revolvimento do solo e um rearranjo das partículas, o qual tendeu a voltar para a condição inicial com o decorrer do tempo. As mesmas observações foram feitas por KITAMURA et al. (2008) e COLODRO (2006).

5.7. Porosidade do solo

As médias de porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo após a aplicação de COLE são apresentadas nas Tabelas 20 e 21, para as camadas de 0-0,20m e 0,20-0,40m respectivamente. Na camada de 0-0,20m não foram observadas alterações significativas na porosidade total nas parcelas que receberam as doses do COLE.

A porosidade total do solo pode não sofrer efeito significativo pela adição de lodo de esgoto, segundo observações de Furrer e Stauffer (citado por JORGE et al., 1991) devido às condições originais do solo. JORGE et al. (1991) também relatam que a porosidade determinada do solo não foi alterada pela adição de doses crescentes de lodo de esgoto, porém a dosagem de 40 Mg.ha⁻¹ e de 80Mg.ha⁻¹ parcelados ou em dose única, após quatros anos, aumentaram significativamente a macroporosidade e a microporosidade do solo testado .

Logo após a aplicação do COLE e plantio, a porosidade total das parcelas foi estatisticamente menor que dois anos após (Tabela 20). Assim como observado na densidade do solo, a porosidade também sofreu influência do revolvimento do solo no momento da incorporação do COLE, tendendo aos valores originais com o decorrer do tempo.

Na camada de 0-0,20m, as diferentes dosagens de COLE afetaram significativamente a macroporosidade do solo nas parcelas. Conforme a Figura 15, o ajuste matemático dos valores observados foi adequado ($R = 1,00$) mostrando uma tendência de aumento da macroporosidade com o aumento da dose de COLE e que a dose de 40Mg.h⁻¹ foi a que proporcionou as maiores médias de macroporosidade.

A microporosidade não foi afetada pelas diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto aplicadas no experimento (Tabela 20).

Tabela 20 - Porosidade total, macroporosidade e microporosidade na profundidade de 0-0,20m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.

Dosagem de Aplicação (Mg.ha ⁻¹)	Porosidade Total		
	0 ano	1 ano	2 ano
	-----m ³ .m ⁻³ -----		
0	0,453	0,470	0,439
20	0,439	0,466	0,440
40	0,459	0,480	0,428
80	0,467	0,460	0,425
Média	0,454A	0,470A	0,433B
Dose Período Dose x Período	Prob F		CV
	NS		10,46
	**		8,61
		NS	---
Dosagem de Aplicação (Mg.ha ⁻¹)	Macroporosidade		
	0 ano	1 ano	2 ano
	-----m ³ .m ⁻³ -----		
0	0,114	0,163	0,079
20	0,110	0,140	0,085
40	0,151	0,145	0,088
80	0,144	0,136	0,077
Média	0,130B	0,147A	0,082C
Dose Período Dose x Período	Prob F		CV
	*		16,29
	**		29,73
		NS	---
Dosagem de Aplicação (Mg.ha ⁻¹)	Microporosidade		
	0 ano	1 ano	2 ano
	-----m ³ .m ⁻³ -----		
0	0,340	0,307	0,360
20	0,329	0,327	0,355
40	0,310	0,336	0,336
80	0,323	0,324	0,348
Média	0,325B	0,323B	0,351A
Dose Período Dose x Período	Prob F		CV
	NS		11,65
	**		11,07
		NS	---

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total. (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

A ausência de resposta do solo pela aplicação de lodo de esgoto nas suas características físicas também foi descrita em alguns trabalhos encontrados na literatura, como COLODRO (2005) e KITAMURA et al. (2008) .

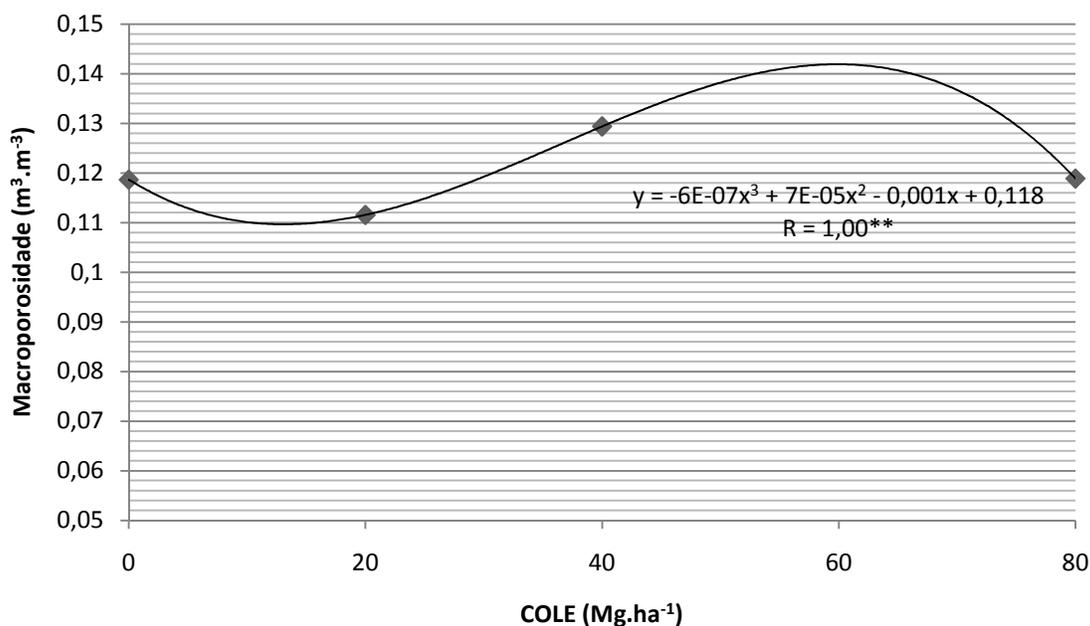


Figura 15 – Análise de regressão para macroporosidade do solo em função das doses crescentes de composto de lodo de esgoto, na camada de 0-0,20m (= significativo a 1%).**

CAMILOTTI et al. (2006) verificaram a aplicação de lodo de esgoto (até 51Mg.ha⁻¹) e/ou vinhaça, mesmo após a realização de quatro aplicações anuais sucessivas e a conclusão de quatro ciclos da cultura, não alteraram a porosidade total, a macroporosidade e microporosidade e a densidade do solo.

Na camada de 0,20-0,40m, tanto a macroporosidade como a microporosidade do solo sofreram alterações significativas na camada inicial ao longo da fase experimental (Tabela 21). Os menores valores de macroporosidade e os maiores para microporosidade foram obtidos após dois anos das aplicações de COLE, independentes das dosagens.

Logo após o parcelamento das aplicações do COLE e plantio das mudas, apesar do teste estatístico não indicar diferenças, nota-se uma tendência de aumento da macroporosidade e diminuição da microporosidade com o aumento crescente das doses de aplicação do COLE.

O fato pode ser justificado pelo efeito máximo da matéria orgânica no solo ter ocorrido após as aplicações e com o passar do tempo cessou-se o efeito condicionador da matéria orgânica pela quase total mineralização da fração orgânica, levando novamente estes parâmetros físicos à condição inicial do experimento.

Segundo KIEHL (1985) a matéria orgânica do solo é oxidada com maior intensidade em climas tropicais e subtropicais, sendo difícil elevar o teor de húmus do solo nestas condições.

Na camada de 0,20-0,40m, a porosidade total do solo não demonstrou diferença estatística significativa, tanto para as dosagens do composto, como para o período estudado e a macroporosidade somente diferiu estatisticamente após dois anos, momento onde atingiu o menor valor, sem contudo apresentar diferenças entre as dosagens de COLE (Tabela 21).

As diferentes dosagens do COLE levaram a variações significativas na microporosidade na camada mais profunda estudada, sendo diminuída com o aumento das doses de COLE, apresentando alta correlação ($R = 0,827$), fato este possivelmente ocorrido pelo efeito de lixiviados da camada acima, a qual recebeu as aplicações do COLE (Figura 16).

As observações de microporosidade do solo apresentadas na Tabela 21 e obtidas no segundo ano, foram diferentemente significativas das observadas anteriormente, apresentando as maiores médias. Assim como a macroporosidade, a microporosidade da camada inferior provavelmente foi afetada pela operação de subsolagem, a qual atingiu esta profundidade, causando modificações que tenderam à situação inicial do solo no decorrer do período.

Segundo KIEHL (1979), a relação entre a macroporosidade e a microporosidade pode evidenciar melhor a condição da porosidade de um solo, sendo considerado como ideal aquele que apresente um terço de macroporos para dois terços de microporos ou seja, uma relação na ordem de 0,5 de macroporos em relação aos microporos.

A Tabela 22 apresenta as relações entre os valores de macro e microporosidade do solo nas duas camadas, obtidas com as diferentes doses de aplicação do COLE. Observa-se que logo após as aplicações do composto, na camada de 0-20m, as maiores doses do COLE proporcionaram ao solo relações próximas da ideal e que após dois anos, estes valores diminuíram pela metade, evidenciando o efeito da matéria orgânica do COLE após as aplicações.

Tabela 21 - Porosidade total, macroporosidade e microporosidade , na profundidade de 0,20-0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.

Dosagem de Aplicação (Mg.ha ⁻¹)	Porosidade Total		
	0 ano	1 ano	2 ano
	-----m ³ .m ⁻³ -----		
0	0,420a	0,434a	0,443a
20	0,421a	0,436a	0,442a
40	0,430a	0,435a	0,433a
80	0,405a	0,414a	0,430a
média	0,419A	0,429A	0,437A
Dose Período Dose x Período		Prob F	CV
		NS	9,72
		NS	9,16
		NS	---
	Macroporosidade		
	0 ano	1 ano	2 ano
	-----m ³ .m ⁻³ -----		
0	0,084AB	0,083A	0,075B
20	0,080AB	0,084A	0,068B
40	0,099AB	0,105A	0,076B
80	0,085AB	0,107A	0,076B
média	0,086AB	0,094A	0,074B
Dose Período Dose x Período		Prob F	CV
		NS	42,25
		*	41,68
		NS	---
	Microporosidade		
	0 ano	1 ano	2 ano
	-----m ³ .m ⁻³ -----		
0	0,335	0,351	0,369
20	0,342	0,352	0,374
40	0,331	0,330	0,356
80	0,320	0,308	0,354
média	0,333B	0,335B	0,363A
Dose Período Dose x Período		Prob F	CV
		**	9,46
		**	9,93
		NS	---

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total. (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

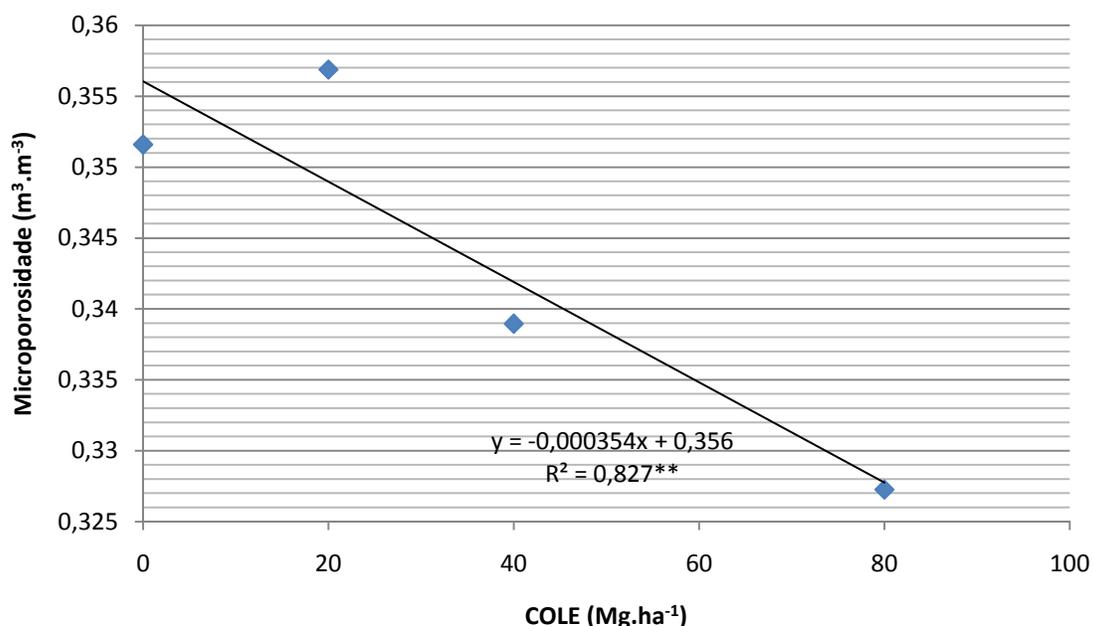


Figura 16 – Médias da microporosidade do solo, na camada de 0,20-0,40m e análise da regressão em função das diferentes doses de composto de lodo de esgoto (= significativo a 1%).**

Os valores das relações obtidos na camada de 0,20-0,40m evidenciaram o mesmo cenário observado na camada de 0-0,20m. Em ambas as camadas houve a tendência de acomodação das partículas ao longo do período para a condição inicial.

Tabela 22– Relação entre a macroporosidade e microporosidade do solo em função de diferentes dosagens de aplicação de composto de lodo de esgoto durante dois anos.

Doses Mg.ha ⁻¹	Relação Macroporos/Microporos					
	0-0,20m			0,20-0,40m		
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
0	0,33	0,53	0,22	0,25	0,24	0,20
20	0,33	0,43	0,24	0,23	0,24	0,18
40	0,49	0,43	0,26	0,30	0,32	0,21
80	0,45	0,42	0,22	0,27	0,35	0,21

5.8. Distribuição e estabilidade dos agregados

Na Tabela 23 observa-se o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo do experimento, em duas profundidades, até dois anos após as aplicações de doses de COLE.

Tabela 23 - Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.

Dosagem de Aplicação (Mg.ha ⁻¹)	0 ano	1 ano	2 ano
	<i>0-0,20m</i>		
	-----mm-----		
0	2,14	2,20	2,07
20	2,28	2,05	2,18
40	2,42	2,27	2,46
80	2,11	2,11	2,17
Média	2,24A	2,16A	2,22A
Doses		Prob F	CV
Periodos		NS	22,27
Doses x Periodos		NS	16,36
		NS	---
	<i>0,20-0,40m</i>		
	-----mm-----		
0	2,06	1,54	1,41
20	1,81	1,25	1,43
40	1,86	1,73	1,79
80	1,93	1,69	1,41
Média	1,91A	1,55B	1,51B
Doses		Prob F	CV
Periodos		NS	27,70
Doses x Periodos		**	26,15
		NS	

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total. (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

A estrutura do solo, resultante da agregação, não foi afetada pelas diferentes doses de COLE aplicadas, durante os dois anos de estudos na camada de 0 – 0,20m. Resultados similares são observados por CARVALHO (2006) e CAMPOS (2005). Na camada inferior, de 0,20–0,40m, as dosagens de aplicação não causaram diferenças significativas no diâmetro dos

agregados. Verificou-se que durante o período estudado, independentemente das dosagens, o diâmetro médio dos agregados foi maior logo após as aplicações, sendo que um e dois anos após, o valor diminuiu significativamente, assim como observado nas médias de macroporosidade do solo nesta camada. Tal efeito pode ter ocorrido devido à presença de lixiviados com características dispersantes, provenientes da camada superior.

Alguns autores descreveram que a aplicação de lodo aumentou significativamente a agregação do solo na camada de 0-0,1m, sendo que as mais profundas, até 0,40m, não sofreram alterações (SOUZA et al.,2005)(MARIA,2007).

5.9. Condutividade elétrica

As dosagens do COLE, promoveram um ligeiro aumento da CE do solo nas camadas de 0-0,20m e 0,20 -0,40m logo após as aplicações, porém sem diferenças estatísticas significativas do solo que não recebeu o composto (Tabela 24). Um ano após o plantio das mudas, as parcelas que receberam o composto apresentaram uma redução significativa na condutividade elétrica do solo, sendo estes valores diferentes e menores do que os apresentados pela testemunha, os quais não se alteraram em dois anos. Este comportamento continuou até dois anos após o plantio nas duas camadas estudadas.

Tabela 24 – Valores de condutividade elétrica do solo estudado, após a aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto em épocas distintas.

Dosagem de Aplicação Mg.ha ⁻¹	Condutividade Elétrica (ds.m ⁻¹)						
	0-0,20m			0,20-0,40m			
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	
0	0,030a	0,025a	0,027a		0,027a	0,035a	0,015b
20	0,035a	0,015b	0,010b		0,035a	0,020b	0,017b
40	0,032a	0,017b	0,012b		0,027a	0,012b	0,010b
80	0,035a	0,012b	0,010b		0,030a	0,010b	0,017b
		Prob F	CV			Prob F	CV
Dose		NS	34,71			NS	42,13
Período		**	25,84			**	21,97
Dose x período		**	---			**	---

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

O resultados encontrados na literatura, com a utilização de resíduos orgânicos no solo indicam por um aumento da CE, como apontado por OLIVEIRA et al. (2002) que em um experimento de campo com uso de composto de lixo urbano em aplicações de 20 até 72Mg.ha⁻¹ anuais em um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, verificaram que as dosagens utilizadas promoveram um aumento na CE do solo e que estas, em dois anos agrícolas, sofreram significativa redução na medida em que se aumentou o tempo de incorporação do resíduo, concluindo que o decréscimo na concentração salina da superfície do solo foi devido à lavagem de íons solúveis ou em suspensão causada pelas águas das chuvas. Também GOMES et al. (2005), constataram um aumento linear da CE nas camadas superficiais e subsuperficiais de um Argissolo Amarelo com aplicações de lodo de esgot anaeróbico, porém sem afetar a cultura do milho. Os efeitos observados possivelmente ocorreram devido ao fato de que as épocas de amostragem do solo coincidiam com épocas chuvosas (Figura 3), ocorrendo lixiviação dos sais presentes na solução do solo. O efeito foi maior nas parcelas que receberam o COLE, pois este provavelmente aumentou a condutividade hidráulica do solo, intensificando o processo, como observado por MARCIANO (1999) que após dois anos aplicações de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar, verificou que a condutividade hidráulica do solo saturado aumentou.

De forma geral, os valores médios de CE apresentados pelos tratamentos são considerados baixos, indicando que a aplicação de COLE manteve a CE adequada para as plantas.

5.10. Complexo sortivo do solo

As Tabelas 25, 26 e 27 apresentam os teores de macronutrientes (potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)), matéria orgânica (MO), acidez potencial (H + Al), soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7 e o índice de saturação por bases (V) do Latossolo Vermelho Amarelo, após a incorporação das diferentes doses do COLE e revegetação, em duas camadas e em três épocas distintas.

Embora possa ser observada na Tabela 29 uma tendência de aumento com o acréscimo das dosagens, em função das médias apresentadas, os teores de carbono orgânico do solo nas camadas analisadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas com o

aumento das doses de aplicação do COLE. Resultados similares podem ser verificados junto à literatura, onde experimentos com aplicações de lodo esgoto no solo não alterara o teor de carbono ou matéria orgânica destes (GONÇALVES et al., 2000). Em aplicações de lodo de esgoto em faixas (2m) nas entrelinhas de plantio de eucalipto, sem incorporação, esses autores não observaram modificações consistentes no teor de matéria orgânica e alguns nutrientes na camada de 0-0,05m, seis meses após a aplicação. ANDRADE et al. (2005), em comparações de efeitos de aplicação de diferentes dosagens de lodo de esgoto alcalinizado em solo cultivado com eucalipto, relataram que o teor de MO do solo não mostrou diferenças entre os tratamentos.

Tabela 25 - Teor de matéria orgânica, pH e fósforo do solo na profundidade de 0-0,20m e 0,20 – 0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas após revetação.

Dosagem de Aplicação Mg.ha ⁻¹	MO (g.dm ⁻³)			pH ---			P (mg.dm ⁻³)		
	0 – 0,20m								
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
0	8,3	8,3	6,3	4,8	4,4	4,4	1,3a	1,8a	2,3a
20	9,2	8,3	6,8	4,8	4,4	4,5	3,8a	2,3a	2,0a
40	9,5	9,2	7,4	4,9	4,5	4,6	4,5a	2,3a	2,8a
80	10,9	9,3	8,1	5,0	4,5	4,7	9,8a	3,3b	3,3b
Médias	9,5A	8,8B	7,1C	4,9A	4,4C	4,5B	4,8	2,4	2,6
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	20,17		*	3,53		**	57,11
Período		*	8,24		**	1,30		**	61,00
Dose x período		NS	---		NS	---		**	---
	0,20 – 0,40m								
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
0	7,5	7,1	5,4	4,8	4,4	4,5	1,5	1,5	2,0
20	7,8	7,4	5,8	4,8	4,4	4,5	2,8	1,2	2,0
40	7,7	7,7	5,7	4,8	4,5	4,6	3,8	2,5	2,5
80	8,9	7,5	6,0	4,9	4,5	4,6	4,0	1,7	1,0
Médias	8,0A	7,4B	5,7C	4,8A	4,4C	4,5B	3,0A	1,7A	1,9A
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	11,53		NS	2,01		NS	60,75
Período		**	5,95		**	1,50		NS	80,76
Dose x período		NS	---		NS	---		NS	---

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total. (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

Os resultados observados no comportamento do teor de carbono orgânico no solo que recebeu as diferentes dosagens de COLE indicam que a degradação da matéria orgânica estabilizada nas condições experimentais foi bastante intensa, não refletindo significativamente no aumento de seu teor. Conforme os dados da Tabela 25, os teores de carbono orgânico foram reduzidos significativamente ao longo do período estudado, nas duas camadas do solo, independentemente das dosagens de COLE.

O aporte inicial de carbono orgânico promovido, provavelmente, pela incorporação de materiais orgânicos da superfície no momento do preparo do solo, diminuiu significativamente e gradualmente ao longo do tempo no experimento.

Estes resultados também estão relacionados com as altas taxa de oxidação da matéria orgânica nos solos tropicais e subtropicais (KIEHL, 1985).

O pH do solo em função das diferentes quantidades de COLE aplicadas mostrou diferenças significativas, conforme visto na Figura 17, onde o ajuste matemático mostrou uma correlação significativa ($R^2 = 0,930$) entre o aumento do pH e o acréscimo das dosagens de COLE.

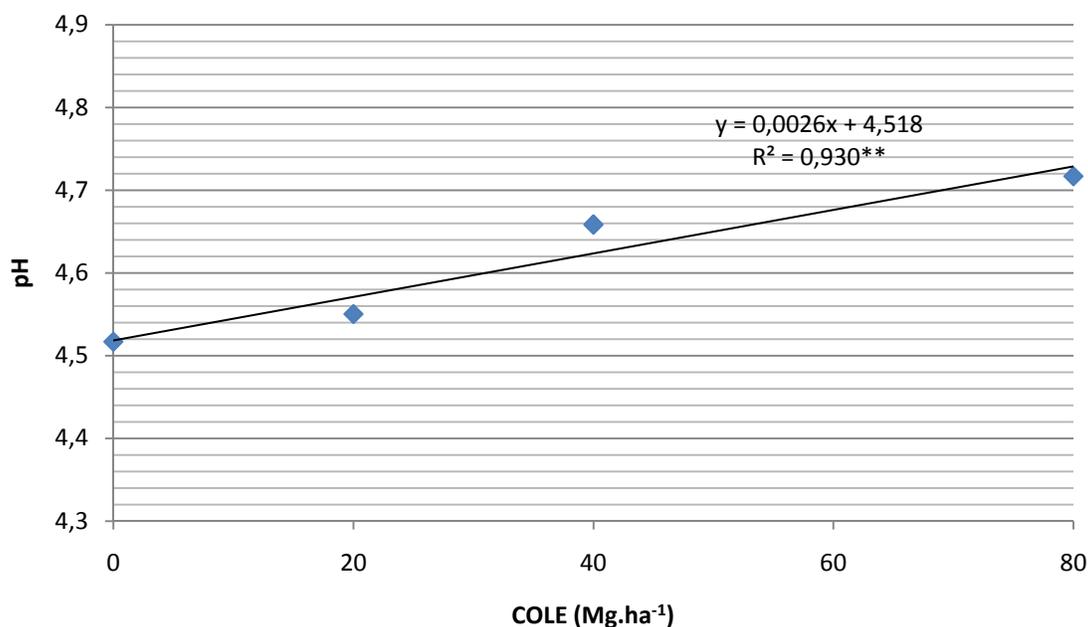


Figura 17 – pH do solo, na camada de 0 – 0,20m após a aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto (= significativo a 1%).**

Outros autores também descreveram comportamentos similares do pH do solo frente à aplicações de lodo de esgoto, como REZENDE (2005) que verificou que o lodo de esgoto aplicado em um Latossolo melhorou sua fertilidade, evidenciada pelas respostas significativas para as concentrações de P, Ca, Zn e para o pH.

SOARES (2003) aplicando lodo de esgoto em um Latossolo Vermelho-Amarelo não degradado no cultivo de eucaliptos observou que o pH aumentou na camada de 0-0,03m sete meses após a aplicação do lodo e que o teor de P também aumentou na camada de 0-0,20m neste período. Outros autores relatam dados divergentes aos obtidos, COLODRO (2006) verificou que o pH do solo não foi alterado pelos tratamentos, ao contrário do P e MO que tiveram seus teores aumentados com as doses testadas. Também ROS et al.(1993) relatam que o teor de matéria orgânica do solo e o pH não foram afetados por dosagem de lodo de esgoto de até 160Mg.ha⁻¹, em um argissolo, e relacionaram estes resultados às diferentes características dos lodos, das dosagens empregadas e dos solos utilizados em cada estudo.

Na Tabela 25, observa-se que os maiores valores de pH, independentemente das dosagens de COLE, foram obtidos logo após a aplicação e plantio das árvores, sendo que após um ano decaíram significativamente, aumentando no segundo ano, porém com valores menores que os observados no início.

Os resultados indicaram que a adição do COLE promoveu um aumento no pH do solo, devido principalmente a reações alcalinas do nitrogênio e que este diminuiu ao longo do tempo, devido a acidificação natural deste solo.

Os níveis de fósforo do solo na camada de 0-0,20m aumentaram significativamente ($R^2 = 0,973$) com o acréscimo das dosagens do COLE, logo após a aplicação e plantio, onde a dosagem de 80Mg.ha⁻¹ aumentou o teor de fósforo em quase oito vezes em relação ao valor observado na ausência da aplicação do COLE (Figura 18).

De acordo com a Tabela 25, o teor de fósforo na parcela que recebeu 80Mg.ha⁻¹ de COLE até dois anos após, diminuiu significativamente na camada de 0-0,20m, devido principalmente ao fenômeno de fixação, comuns em solos ácidos tropicais, e à remoção pelas árvores.

As demais dosagens não apresentaram variações significativas durante o período de observação, porém na parcela que não recebeu o composto, observa-se uma tendência de

aumento no teor de fósforo ao longo do tempo estudado, tal fato pode ser explicado pela reciclagem dos nutrientes promovida pela deposição das folhas no solo.

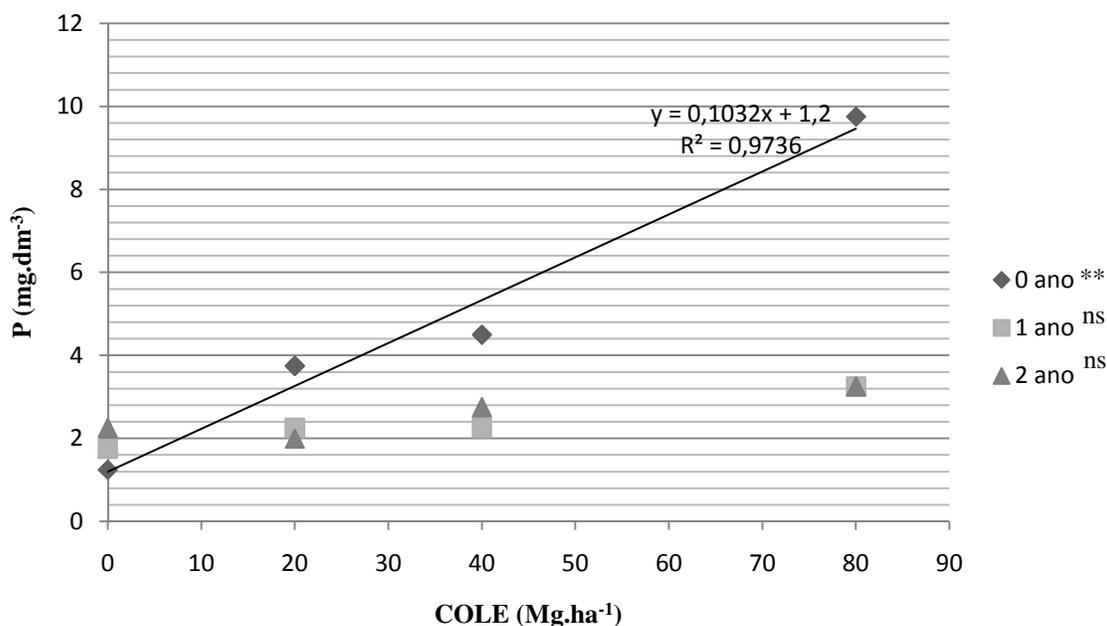


Figura 18 – Análise de regressão do teor médio de fósforo do solo, na camada de 0 - 0,20m, após aplicações de diferentes doses de composto de lodo de esgoto em função das épocas de amostragens (= significativo a 1%; ns = não significativo) .**

Na camada de 0,20–0,40m observa-se a mesma tendência da camada anterior, porém sem diferenças estatísticas significativas entre as dosagens e os períodos estudados (Tabela 25).

Os resultados encontrados estão de acordo com VIEIRA et al. (2005 que verificaram que os teores de P no solo, no primeiro ano de cultivo, foram maiores nos tratamentos com lodo e que não houve diferença significativa entre as doses do lodo e ,também, que 85 dias após a emergência das plântulas, houve um decréscimo desse nutriente no solo de todos os tratamentos, em relação à avaliação anterior; nessa época, verificou-se uma tendência à maior concentração de P no solo, com o aumento da dose de lodo.

GALDOS e CAMARGO (2004) concluíram que os teores disponíveis de P no solo onde foi aplicado lodo foram semelhantes aos do tratamento sem lodo e com adubo químico e que a aplicação do lodo aumentou as frações lábeis e moderadamente lábeis do P na camada superficial.

Tabela 26 - Teor de potássio, cálcio e magnésio do solo na profundidade de 0-0,20m e 0,20 – 0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas.

Dosagem de Aplicação Mg.ha ⁻¹	K (mmol _c .dm ⁻³)			Ca (mmol _c .dm ⁻³)			Mg (mmol _c .dm ⁻³)		
	0 – 0,20m								
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
0	0,3a	0,3a	0,4a	3,0	2,5	2,0	1,0	1,0	1,0
20	0,3a	0,4a	0,4a	4,0	3,3	3,0	1,0	1,0	1,0
40	0,6a	0,3a	0,4a	4,5	5,0	5,0	1,5	1,0	1,8
80	0,7a	0,3a	0,4a	7,0	5,3	7,5	2,3	1,0	1,8
Médias	0,5A	0,3A	0,4A	4,6A	4,0A	4,4A	1,4A	1,0B	1,4AB
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	45,78		**	12,95		**	21,43
Período		NS	38,13		NS	25,51		*	33,78
Dose x período		*	---		NS	---		NS	---
0,20 – 0,40m									
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
0	0,2	0,2	0,3	3,0	2,8	2,0	1,0	0,9	1,0
20	0,3	0,2	0,2	3,0	2,5	1,8	1,0	0,9	0,9
40	0,2	0,2	0,3	3,3	3,0	2,5	1,0	1,0	1,0
80	0,4	0,2	0,3	4,8	2,8	2,3	1,3	1,0	1,0
Médias	0,3A	0,2A	0,3A	3,5A	2,8B	2,2B	1,0A	0,9A	1,0A
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	27,31		NS	36,64		NS	14,88
Período		NS	36,81		**	27,52		NS	15,47
Dose x período		NS	---		NS	---		NS	---

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total. (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

Na camada de 0 – 0,20m, a soma das bases (SB) aumentou significativamente nos solos das parcelas que receberam dosagens do COLE (Tabela 27) e foram superiores ao valor observado na testemunha nos três períodos estudados. O aumento dos valores da SB foi proporcional ao aumento das dosagens de aplicação do composto ($R^2 = 0,983$).

O aumento observado nos valores das somas das bases nos solos das parcelas foi devido principalmente aos teores de cálcio e magnésio (Tabela 26) que aumentaram proporcionalmente com as dosagens do COLE.

O aumento no teor de bases do solo com a aplicação de lodo é relatada por NASCIMENTO et al. (2004).

A adição de COLE proporcionou diferença significativa no teor de potássio do solo da parcela que recebeu a maior dose (Figura 19), com correlação de $R^2 = 0,934$ entre os fatores da regressão. Esta diferença ocorreu apenas após a aplicação, sendo que nos outros períodos analisados não houve diferenças significativas entre as dosagens, indicando que houve remoção do nutriente do solo pelas plantas.

Outros autores relataram a baixa eficiência do lodo de esgoto em fornecer K ao solo, uma vez que este nutriente permanece na fase líquida no processo de tratamento, devido a sua alta solubilidade em água. BARBOSA et al. (2007) que relataram aumentos significativos nos teores de Ca, Mg, pH e C orgânico, aumentando conseqüentemente a CTC e V % sendo que os valores de K não apresentaram diferenças significativas em relação à testemunha, em razão de o lodo ser deficiente neste elemento.

O aumento do teor de K do solo em função das aplicações de COLE deve-se, provavelmente, ao fato de que na compostagem foi utilizado resíduo de roçagens de gramíneas, como material estruturante, mais rico em K que o lodo de esgoto.

As concentrações de cálcio e magnésio também foram influenciadas significativamente pelas dosagens de COLE. A Figura 19 mostra que os teores dos dois nutrientes foram incrementados com o aumento das dosagens de aplicação, durante todo o período avaliado ($R^2 = 0,992$ e $0,921$ para K e Mg, respectivamente).

Na camada de 0,20–0,40m não houve diferenças significativas para os valores de SB, indicando uma baixa lixiviação das bases provenientes da primeira camada (Tabela 26) . Somente observou-se que após a aplicação do COLE e plantio das árvores, o teor de cálcio do solo subsuperficial foi maior que nos dois anos seguintes, independentemente das dosagens testadas.

Observações diferentes são descritas na literatura por PAGLIA et al. (2007) e SOARES (2003).

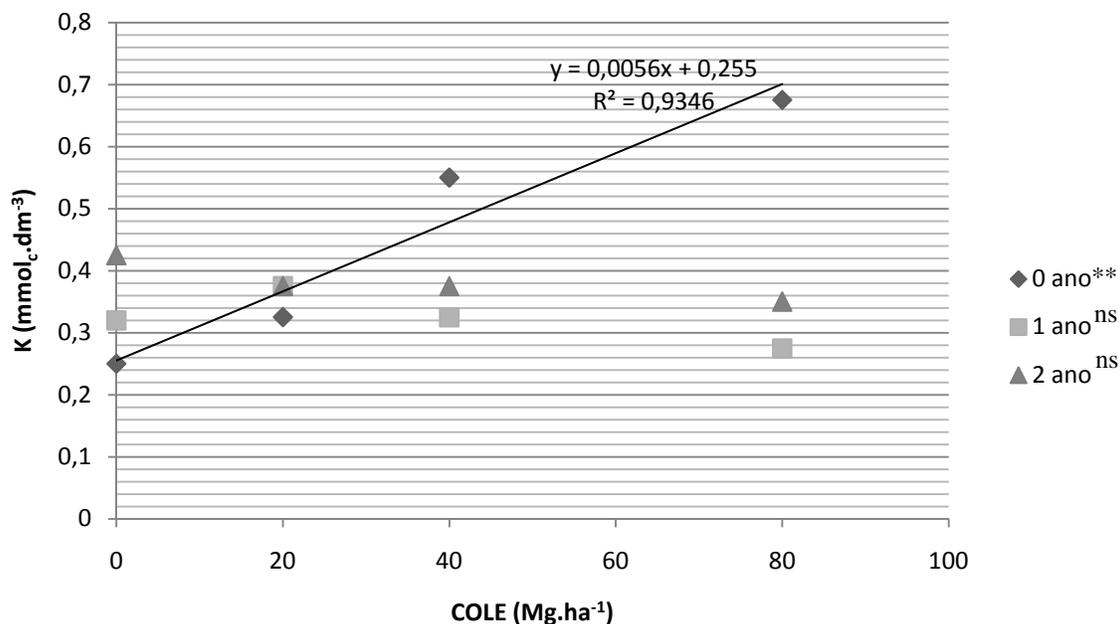


Figura 19 – Análise de regressão do teor de potássio do solo, na camada de 0 – 0,20m, após diferentes doses de aplicação de composto de lodo de esgoto, em função da época de amostragem (= significativo a 1%; ns = não significativo).**

A acidez potencial do solo nas duas camadas das parcelas experimentais não sofreu alteração significativa em função das diferentes dosagens de COLE aplicadas, como pode ser visto na Tabela 27. Somente dois anos após a aplicação e plantio que os valores diminuíram para todos os tratamentos nas duas camadas, inclusive a testemunha.

Os valores da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo das parcelas não apresentaram diferenças significativas para as diferentes dosagens de COLE (Tabela 26). No entanto pode-se observar nas médias, o mesmo padrão numérico observado com a SB, onde os maiores valores indicaram as maiores dosagens.

A CTC do solo estudado, independentemente do tratamento utilizado, diminuiu ao longo dos períodos analisados, sendo que, nas duas camadas estudadas, os menores valores foram observados dois anos após a aplicação do composto e plantio das árvores (Tabela 26). Indicando com isso, que parte das cargas negativas dos colóides do solo foi proveniente da matéria orgânica e a CTC também diminuiu com sua degradação natural.

Em função dos valores da SB e CTC observados, o índice de saturação por bases (V) do solo das parcelas também aumentou com as dosagens do COLE (Tabela 27), sendo que as

três dosagens testadas promoveram aumentos significativos no índice em comparação com a testemunha na camada de 0–0,20m. Na Figura 21 ilustra-se o ajuste matemático para V, mostrando correlação satisfatória ($R^2=0,995$) ; na camada inferior (0,20–0,40m) não foram observadas diferenças significativas para a característica.

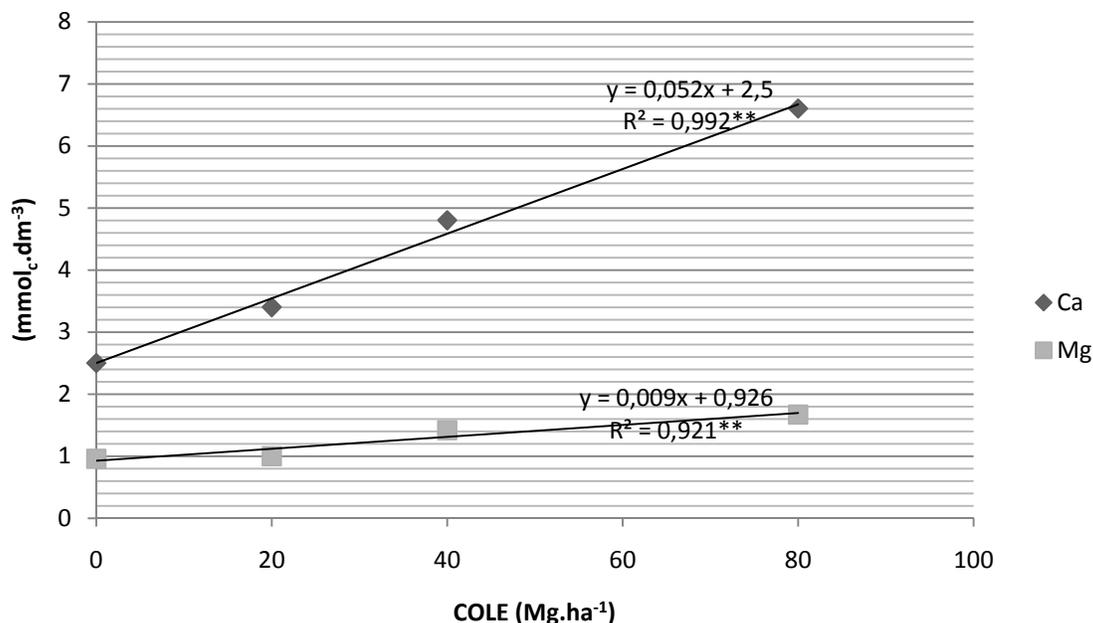


Figura 20 – Teor de cálcio e magnésio do solo, na camada de 0 – 0,20m, após diferentes doses de aplicação de composto de lodo de esgoto (= significativo a 1%).**

O efeito do lodo de esgoto nos parâmetros de fertilidade dos solos ocorre em função do tipo tratamento do lodo de esgoto, da dosagem utilizada e das características edafoclimáticas do local. Fato este observado por CHIBA et al (2008) os quais relataram que a aplicação de 14Mg.ha⁻¹ de lodo de esgoto, não alcalinizado, não aumentou os teores de P, K, Ca e Mg, bem como o seu pH e atribuem o efeito a composição química do lodo utilizado e a dose aplicada.

Fatos diferentes foram observados por CAMPOS (2005) o qual relatou que a aplicação de doses de lodo de esgoto variando entre 0 e 60Mg.ha⁻¹ em um solo degradado pela remoção das camadas superficiais, promoveu melhoria na fertilidade do solo, comprovada pelo aumento nos teores de P, K, Ca, Mg e MO, bem como na SB, pH, CTC e V%.

Tabela 27 – Acidez potencial (H + Al), soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e índice de saturação por bases (V) do solo de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, em duas profundidades, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto, analisado em três épocas distintas após revegetação.

Dosagem de Aplicação	H+Al (mmol _c .dm ⁻³)			SB (mmol _c .dm ⁻³)			CTC (mmol _c .dm ⁻³)			V (%)		
	0 – 0,20m											
Mg.ha ⁻¹	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano
0	30	30	27	4,3	3,3	2,9	33,7	33,6	30,1	13	10	10
20	30	29	26	5,3	4,6	4,4	33,6	33,5	30,3	15	14	15
40	30	28	26	6,6	6,3	7,1	36,7	34,3	32,9	18	19	22
80	30	27	26	9,9	6,5	9,6	39,3	33,7	35,4	25	20	27
Médias	30A	29A	26B	6,5A	5,2A	6,0A	36,3A	33,7B	32,2B	18A	16A	18A
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	17,18		**	15,15		NS	15,51		**	12,34
Período		**	6,43		NS	27,03		*	7,13		NS	20,37
Dose x período		NS	---		NS	---		NS	---		NS	---
0,20 – 0,40m												
Mg.ha ⁻¹	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano
0	29	26	23	3,9	3,5	2,8	32,5	29,2	26,1	12	12	11
20	30	28	24	4,0	2,9	2,2	33,5	31,1	26,1	12	10	9
40	29	27	23	4,5	3,9	3,5	33,2	30,5	26,1	14	13	14
80	28	27	24	6,4	3,5	3,0	34,2	29,9	26,9	19	12	11
Médias	29A	27A	22B	4,7A	3,5B	2,9B	33,4A	30,1B	26,3C	14A	12A	11A
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	16,05		NS	37,13		NS	8,93		NS	43,85
Período		**	11,28		**	31,11		**	7,43		NS	29,55
Dose x período		NS	---		NS	---		NS	---		NS	---

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total. (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

A Tabela 28 apresenta os teores dos micronutrientes: boro (B) cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn) nas profundidades de 0-0,20m e 0,20–0,40m nas parcelas estudadas, em função da dosagem de aplicação do COLE e do tempo após o plantio de espécies nativas de árvores.

Observa-se na Figura 22 que os teores de manganês na camada de 0-0,20m aumentaram significativamente com as dosagens de COLE logo após a aplicação (R²=0,987) e dois anos depois (R²=0,960).

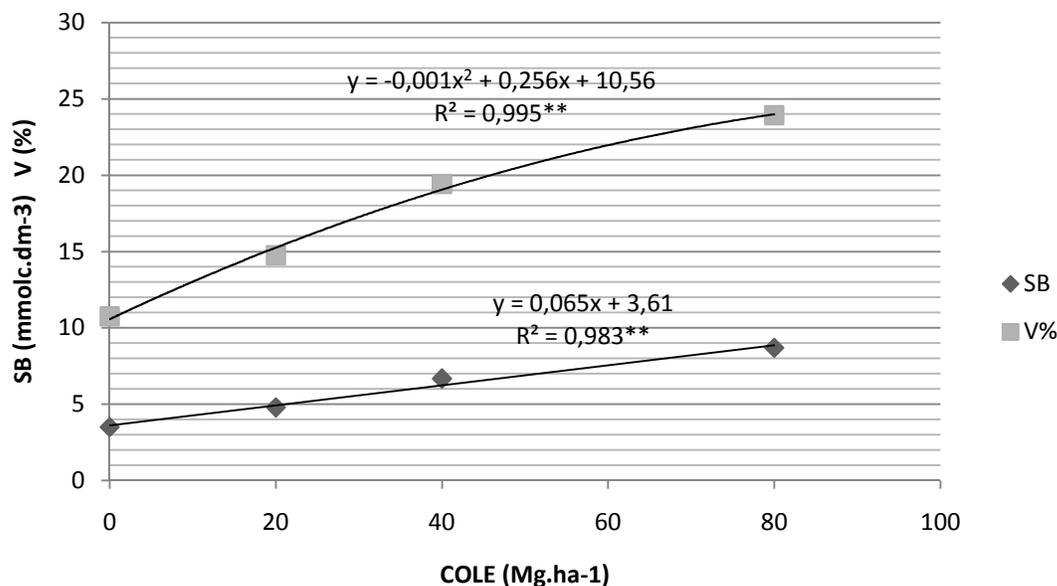


Figura 21 – Soma das bases (SB) e índice de saturação por bases (V) do solo que recebeu diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto na camada de 0-0,20m (= significativo a 1%).**

Os teores de Fe do solo também sofreram efeitos significativos com as aplicações de COLE na camada de 0-0,20m. Na Figura 23 ilustra-se a correlação positiva demonstrada pela análise de regressão entre os fatores, mostrando a interação entre dosagens e os períodos. O mesmo comportamento ocorreu para o Fe na camada de 0,20 - 0,40m, onde as dosagens de COLE influenciaram significativamente o aumento de sua concentração no solo.

Segundo Hue (citado por CHIBA, 2005) as aplicações de lodo de esgoto nos solos podem elevar a quantidade de alguns elementos, em especial ferro, alumínio, cálcio e magnésio.

Em ambas as camadas, as médias dos períodos mostram uma redução significativa no teor de Fe ao longo dos dois anos após a aplicação (Tabela 28). Esta redução deve-se provavelmente à complexação do Fe no solo, assumindo formas não disponíveis para as plantas.

As concentrações de Cu e Zn no solo não apresentaram diferenças significativas em função das dosagens de COLE nas duas camadas do solo (Tabela 28). Porém com relação aos períodos estudados, o teor de cobre, na camada de 0-0,20m, aumentou significativamente após dois anos nas parcelas que receberam a dosagem máxima de COLE, não apresentando

alterações na camada de 0,20-0,40m para as dosagens testadas. O teor de zinco, independentemente da dosagem, apresentou maior acúmulo logo após a aplicação, reduzindo seu teor um ano após, nas duas camadas analisadas. Na camada de 0-0,20m, dois anos após a aplicação, o teor de zinco aumentou devido, provavelmente, ao aporte de material orgânico na superfície pela deposição de folhas.

Aumentos nos teores de Cu e Zn em solos que receberam lodo de esgoto alcalinizado foram apontados por SILVA et al. (2001) e CHIBA et al. (2008). HERWIJNEN et al. (2007) utilizando composto de lodo de esgoto, verificaram que sua aplicação no solo aumentou em até três vezes o teor de zinco no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por GALDOS e CAMARGO (2004). LARCHEVÊQUE et al. (2006) aplicando um composto de lodo de esgoto em um solo degradado, observaram um aumento no teor de fósforo, cobre e zinco.

Tabela 28 – Teores de boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn) nas profundidades de 0-0,20m e 0,20 – 0,40m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas após revegetação.

Dose de aplicação	B (mg.dm ⁻³)			Cu (mg.dm ⁻³)			Mn (mg.dm ⁻³)			Fe (mg.dm ⁻³)			Zn (mg.dm ⁻³)		
	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano
0 – 0,20m															
Mg.ha ⁻¹	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano
0	1,04	1,32	1,87	0,3a	0,3a	0,3a	1,6a	0,8b	1,1ab	12,8a	7,3ab	5,3b	1,3	0,8	1,0
20	1,07	1,15	1,51	0,4a	0,4a	0,4a	1,9a	1,0b	1,4ab	22,5a	11,5b	10,0b	1,2	0,6	0,9
40	1,10	1,18	1,58	0,4a	0,4a	0,5a	2,2a	1,2b	1,7ab	26,0a	16,5b	14,8b	1,3	1,0	1,4
80	1,03	1,26	1,54	0,6b	0,4c	0,7a	3,0a	1,2c	2,0b	40,5a	15,3c	22,8b	2,0	1,0	1,9
Médias	1,06B	1,27B	1,62A	0,43	0,37	0,47	2,2	1,1	1,6	25,4	12,6	13,2	1,4A	0,8B	1,3A
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	19,87		NS	39,82		**	19,50		**	34,10		NS	55,68
Período		**	15,62		**	15,39		**	19,33		**	23,14		**	30,04
DxP		NS	---		**	---		*	---		**	---		NS	---
0,20 – 0,40m															
Mg.ha ⁻¹	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano	0ano	1ano	2ano
0	0,67	0,88	1,15	0,3	0,2	0,3	1,3	0,7	0,9	11,0	4,3	4,0	0,6	0,2	0,3
20	0,56	1,03	1,22	0,3	0,2	0,3	1,5	0,7	0,8	13,5	6,0	5,3	0,7	0,2	0,3
40	0,53	0,89	1,16	0,3	0,2	0,3	1,5	0,7	0,8	13,3	6,0	5,3	0,6	0,3	0,4
80	0,59	0,95	1,20	0,4	0,2	0,3	1,7	0,7	0,7	18,8	6,8	7,5	0,8	0,2	0,4
Médias	0,59C	0,94B	1,18A	0,3A	0,2B	0,3A	1,5A	0,7B	0,8B	14,1A	5,8B	5,5B	0,7A	0,2B	0,3B
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	28,39		NS	21,98		NS	23,07		**	24,95		NS	53,76
Período		**	21,65		**	19,78		**	24,77		**	27,69		**	61,35
DxP		NS	---		NS	---		NS	---		NS	---		NS	---

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total. (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

Os teores de B aumentaram significativamente durante o período de estudo, independentemente das dosagens (Tabela 28), apresentando os maiores valores no segundo ano, nas duas camadas amostradas, indicando que houve liberação do micronutriente através da mineralização da matéria orgânica.

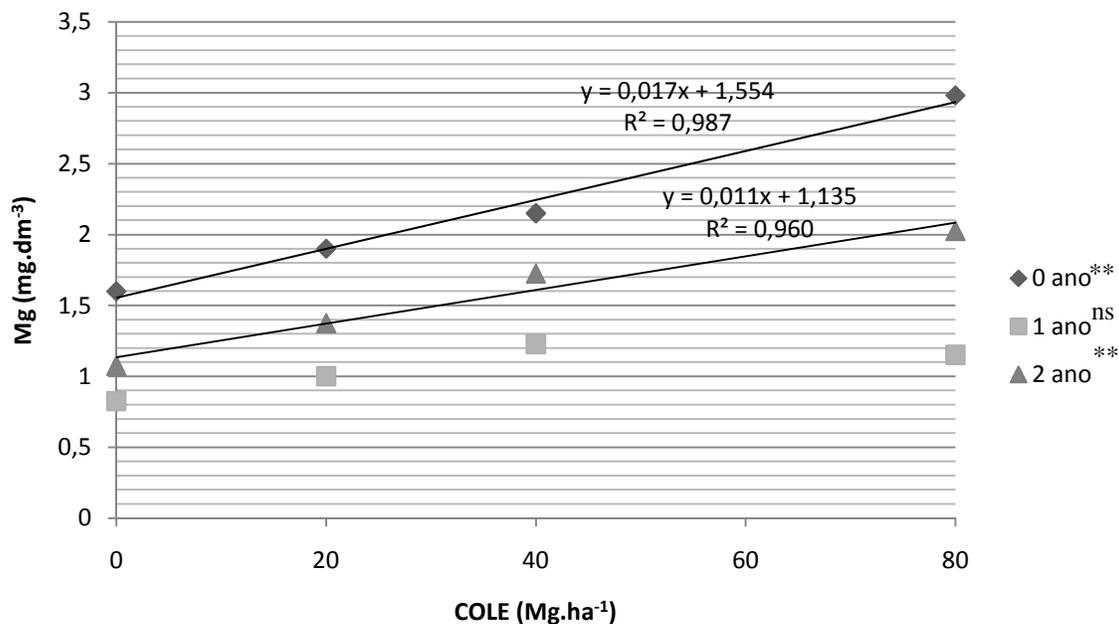


Figura 22 – Teor de manganês do solo, na camada de 0 – 0,20m, após a aplicação das diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto nos três períodos de amostragem (= significativo a 1%; ns = não significativo).**

5.11. Nitrato

Os teores de nitrogênio-nitrato (N-NO₃) observados na camada de 0,20-0,40m das parcelas submetidas aos tratamentos com COLE, logo após a aplicação e plantio das árvores estão apresentados na Tabela 29.

Não houve lixiviação do nitrato da camada (0-0,20m) que recebeu a incorporação do composto de lodo de esgoto para a camada subsuperficial (0,20-0,40m), independentemente da dosagem testada, em comparação com a testemunha (0Mg.ha⁻¹) (Tabela 29).

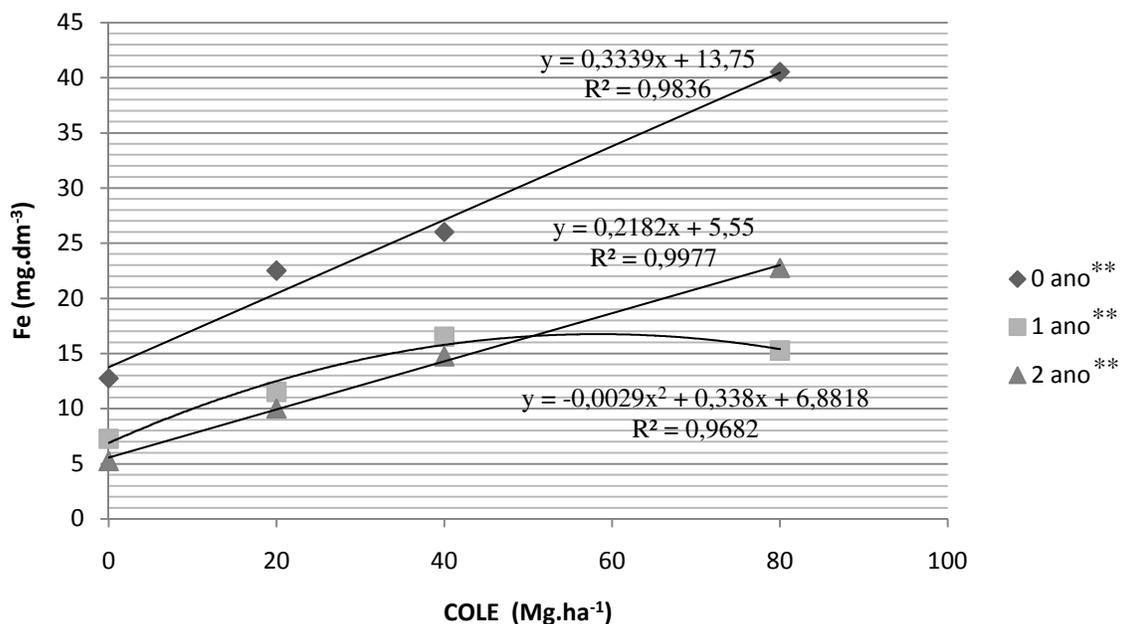


Figura 23 – Teor de ferro do solo, na camada de 0 – 0,20m, após a aplicação das diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto nos três períodos de amostragem (= significativo a 1%).**

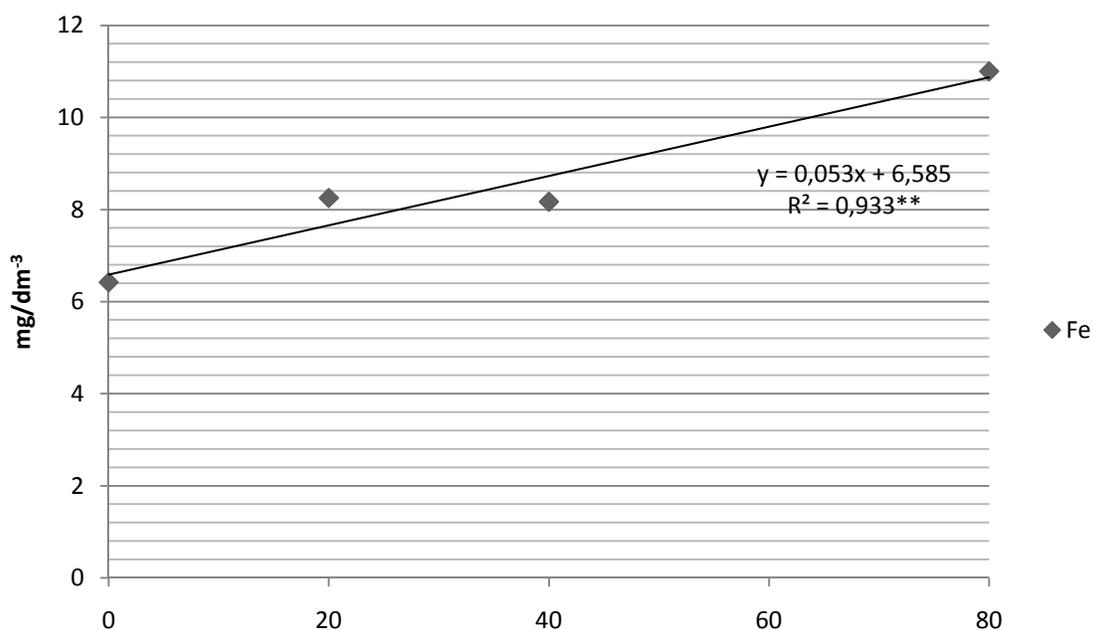


Figura 24 – Teor de ferro do solo, na camada de 0,20–0,40m, após a aplicação das diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto nos três períodos de amostragem (= significativo a 1%).**

A compostagem do lodo de esgoto testado, provavelmente influenciou nos resultados observados, uma vez que a estabilização da matéria orgânica do composto evitou maiores aportes de nitrogênio no solo. Esta hipótese é observada por CORRÊA e WEATHERLEY (2005) que mostraram que para doses iguais de aplicação, o risco de contaminação de aquíferos por lixiviação de nitrato nos solos tratados com uma dose única de lodo de esgoto foi considerado baixo, e que o lodo de esgoto compostado foi o que apresentou a menor taxa de lixiviação.

CHIBA et al. (2008) verificaram que não houve aumento significativo no teor de nitrato na camada de 0,20-0,40m nas parcelas que receberam lodo de esgoto.

A aplicação de lodo de esgoto não estabilizado em solos esta associada à lixiviação de nitrato para camadas subsuperficiais, podendo vir a causar danos ambientais. A intensidade deste fenômeno depende de vários fatores descritos na literatura. VIEIRA (2004) recomenda que se considere o tipo de solo e o tipo de lodo (aeróbico ou não) para recomendações de aplicação de lodo de esgoto em solos, uma vez que estes fatores influenciam a mineralização do lodo e consequentemente a lixiviação de nitrato.

VIEIRA e CARDOSO (2003) recomendam que as doses de lodo de esgoto baseadas no requerimento de N pela cultura e na fração de mineralização do lodo pode ocasionar perdas de N do ecossistema solo, principalmente no início do ciclo vegetativo da cultura, com conseqüências danosas para o ambiente. Resultados similares foram apresentados por VIEIRA et al. (2005).

Tabela 29 – Teor de N-NO₃ (mg.kg⁻¹) na camada de 0,20-0,40m do solo, na base seca, das parcelas que receberam diferentes doses de composto de lodo de esgoto, logo após o plantio das árvores.

Dosagens do lodo de esgoto			
0Mg.ha ⁻¹	20 Mg.ha ⁻¹	40 Mg.ha ⁻¹	80 Mg.ha ⁻¹
Mg.kg ⁻¹			
13,22	14,86	10,67	12,15
		Prob F	CV
Dose		NS	48,15

5.2. Avaliação do Desenvolvimento das Árvores

A Tabela 30 apresenta o desenvolvimento do conjunto de espécies arbóreas ao longo do período estudado, após a aplicação do COLE, através do índice de cobertura da copa (ICC), da altura das plantas e do diâmetro do caule.

A Figura 25 apresenta o índice de mortalidade das árvores nas parcelas, em função da dosagem do COLE testada e da época de amostragem. Observa-se que a perda de algumas árvores jovens foi independente das dosagens de COLE utilizada nas parcelas. O índice de mortalidade médio no primeiro ano após o plantio foi de 6% e no segundo de 13%.

Uma vista geral das parcelas que receberam COLE e a revegetação com espécies nativas, no município de Mogi Guaçu – Sp, está ilustrada na Figura 26.

Os resultados médios de crescimentos das árvores, expressos através da altura, diâmetro do caule e do índice de cobertura das copas na área, não mostraram diferenças estatísticas significativas em função das diferentes dosagens de COLE testadas (Tabela 30).

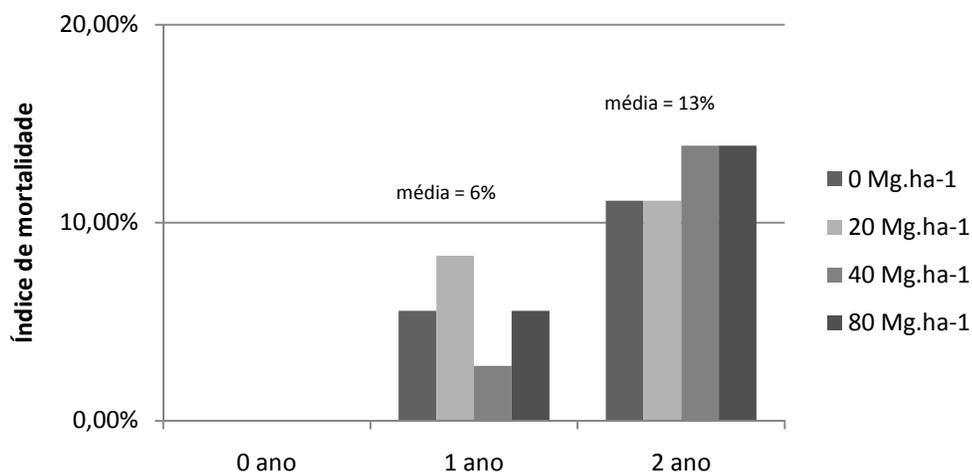


Figura 25 – Índice de mortalidade no reflorestamento, em função da dosagem de composto de lodo de esgoto e do período de amostragem.

Entretanto, todas as características aumentaram significativamente ao longo do período estudado (Tabela 30), indicando que as árvores se desenvolveram na área de estudo, independentemente da dose de COLE.

Resultados semelhantes foram obtidos por BEZERRA et al. (2006) que avaliando a recuperação de um solo decapitado, através da aplicação de diferentes dosagens de lodo de esgoto e posterior revegetação com *Mimosa caesalpiniiifolia* e *M. bimucronata*, verificaram que mesmo com o incremento da fertilidade do solo, através do aumento dos teores de nutrientes, matéria orgânica e CTC, nenhuma das espécies apresentou diferença significativa de crescimento com base na altura e no diâmetro de copa medido.

Tabela 30 - Índice de cobertura da copa (ICC), altura e diâmetro do caule das árvores implantadas em solo sob diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto mensuradas em três períodos distintos.

Dosagem de Aplicação Mg.ha ⁻¹	ICC			Altura (mm)			Diâmetro do caule (mm)		
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
0	0,02	0,11	0,28	677	1039	1282	4,4	11,5	18,4
20	0,02	0,22	0,43	662	1196	1372	4,3	14,0	23,2
40	0,02	0,13	0,28	659	1006	1206	4,1	11,6	18,9
80	0,02	0,16	0,41	632	1155	1274	4,1	13,6	21,9
Médias	0,02C	0,14B	0,35A	657C	1099B	1283A	4,2C	12,7B	20,6A
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	50,15		NS	23,71		NS	38,86
Período		**	45,48		**	11,78		**	22,42
Dose x período		NS	---		NS			NS	---

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total. (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

A Tabela 31 apresenta os índices de crescimento das árvores testadas, divididas em dois grupos: pioneiras e não-pioneiras, submetidas a diferentes dosagens de COLE, em três períodos.

As espécies pioneiras não apresentaram resposta significativa na altura, diâmetro do caule, como também no ICC para as diferentes dosagens de COLE. Demonstrando que as espécies utilizadas pertencentes a este grupo não responderam ao aumento nutricional proporcionado pela adição de COLE no solo.

Segundo BORDINI (2007) existem duas suposições quanto à utilização de nutrientes do solo: 1) as espécies que apresentam maior dominância relativa em uma comunidade em ambiente pobre em nutrientes comprovariam a melhor competitividade delas, por causa de um melhor aproveitamento de nutrientes; 2) as espécies mais abundantes com menores concentrações de nutrientes serão evidências de que baixos requisitos nutricionais são uma vantagem competitiva.

As baixas respostas das pioneiras ao COLE indicam uma capacidade adaptativa para sobrevivência e adaptação a situação adversas, promovendo assim a papel de recolonizadoras em florestas perturbadas.



Figura 26 – Vista geral das parcelas que receberam COLE e revegetação com espécies nativas, em três períodos distintos, no município de Mogi Guaçu – SP.

Resultados indicando a baixa resposta de algumas árvores à fertilização do solo são descritos por BORDINI (2007) e Gonçalves (citado por VENTURINI et al., 1999).

As espécies pioneiras apresentaram o ICC, a altura e o diâmetro do caule significativamente diferentes entre os períodos estudados, independente da dosagem de COLE (Tabela 31). Entretanto, o COLE não afetou significativamente o ICC, a altura e o diâmetro das espécies não-pioneiras durante o período estudado (Tabela 31).

Segundo BARBOSA (2003) o grupo das árvores não-pioneiras é tolerante ao sombreamento durante seu crescimento inicial, porém estando nesta fase a pleno sol, pode ter seu desenvolvimento prejudicado.

Tabela 31 - Índice de cobertura da copa (ICC), altura e diâmetro do caule das árvores pioneiras e não pioneiras implantadas em solo sob diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto mensuradas em três períodos distintos.

Dosagem de Aplicação Mg.ha ⁻¹	ICC			Altura (mm)			Diâmetro do caule (mm)		
	Pioneiras								
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
0	0,03	0,16	0,47	764	1354	1672	4,1	14,9	24,3
20	0,02	0,30	0,76	609	1487	1691	3,5	18,7	34,7
40	0,01	0,22	0,51	653	1211	1499	3,7	15,8	28,5
80	0,02	0,26	0,75	629	1434	1642	3,5	18,1	32,6
Médias	0,02C	0,23B	0,62A	664C	1372B	1626A	3,7C	16,9B	30,0A
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	64,31		NS	36,14		NS	50,81
Período		**	53,56		**	17,67		**	30,31
Dose x período		NS	---		NS	---		NS	---
Não Pioneiras									
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
0	0,02	0,07	0,09	608	752	880	4,6	8,6	12,5
20	0,02	0,08	0,15	701	963	1094	5,0	10,0	13,3
40	0,02	0,05	0,07	663	867	955	4,4	8,8	10,4
80	0,02	0,07	0,11	633	910	950	4,5	9,6	12,5
Médias	0,02C	0,07B	0,10A	651C	873B	970A	4,6C	9,22B	12,2A
		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Dose		NS	99,63		NS	22,17		NS	32,79
Período		**	57,86		**	11,59		**	19,06
Dose x período		NS	---		NS	---		NS	---

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; letras minúsculas comparam médias de épocas; maiúsculas, média total. (NS = não significativo, * e **, significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente)

Tanto a altura como o diâmetro do caule das não-pioneiras aumentaram significativamente ao longo do período estudado, conforme pode ser observado na Tabela 31, mostrando o desenvolvimento deste grupo, o qual se caracteriza por ser lento.

6. CONCLUSÕES

O processo de compostagem realizado com o lodo de esgoto e resíduos de roçagens provenientes do município de Mogi Guaçu apresentou-se viável para produção de composto com fins de disposição no solo.

As dosagens de lodo de esgoto compostado não modificou os atributos físicos analisados no solo do local, nem o seu teor de carbono orgânico.

A dosagem de $80\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ do composto de lodo de esgoto promoveu um aumento do teor de fósforo, cálcio, magnésio, potássio, manganês, ferro e pH do solo, afetando positivamente sua fertilidade.

Não houve aumento da condutividade elétrica no solo e lixiviação de nitrato em função do manejo e dosagens de composto de lodo de esgoto.

O desenvolvimento da composição do reflorestamento escolhido não sofre influência das dosagens crescentes de composto de lodo de esgoto no solo decapitado, sendo que os grupos sucessionais estudados (pioneiras e não-pioneiras) mostraram comportamentos semelhantes.

O uso de composto de lodo de esgoto na recuperação de um solo decapitado, por meio da revegetação com espécies nativas, é uma alternativa viável para o município de Mogi Guaçu, no que se refere à sua disposição e recuperação de áreas degradadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, E.C. Efeito de doses de lodo de esgoto sobre a fertilidade, atividade da amilase e celulase de um Latossolo Vermelho escuro textura média. Jaboticabal, 1992, 110p, Trabalho de conclusão de curso, FCAVJ - UNESP.

ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólidos (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia forestalis**. n.58, p.59 – 72, dez 2000.

ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, C.D.; CERRI, C.C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** , v.29, pp. 803-816, 2005.

ANDRAUS, S.; et al. Eficiência da calagem na remoção de bactérias entéricas, no lodo aeróbio da ETE-Belém, em Curitiba-Pr. **Sanare**, Curitiba, v10, nº 10, p 57-62, julho/dezembro 1998.

ANDREOLI, C.V.; BACKES, S.A.; CHERUBINI, C. Avaliação do processo de compostagem utilizando podas verdes e resíduos de saneamento. In: FERTBIO 2002 **Anais...** Rio de Janeiro, 2002.

ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR, FINEP, p.21-35, 1999.

ANNABI, M.; HOUOT, S.; FRANCOU, C.; POITRENAUD, M.; BISSONNAIS, Y.L. Soil Aggregate Stability Improvement with Urban Composts of Different Maturities. **Soil Science Society of America Journal** , v.71, n.2, p. p. 441.,Mar/abr, 2007.

BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C.B. Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, Curitiba, v.17, n.17, p. 94-101, janeiro/junho 2002.

BARBOSA, L.M. Sucessão vegetal e modelos de recuperação. In: Seminário regional sobre recuperação de áreas degradadas: subsídios para a conservação da biodiversidade e manutenção dos sistemas hídricos. (**Apostila**). SMA- IBt, Mogi Guaçu, 41p, 2003.

BARBOSA, G. M.; FILHO, J. T.; FONSECA, O. R. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** , v.31, pp. 601-605, 2007.

BRASIL. Ministério do Interior. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, MINTER/IBAMA, 1990.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas (Noções básicas)**. FUNEP, Jaboticabal, 42p., 1988.

BETTIOL, W. Effect of sewage sludge on the incidence of corn stalk rot caused by *Fusarium*. **Summa Phytopathologica**, v.30, n.1, p.16-22, 2004.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna : Embrapa Meio Ambiente, p.312, 2000.

BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A. VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.13, p.187-192, 1989.

BERNAL, M.; SANCHEZ-MONEDERO, M.; PAREDES, C.; ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment** , v.69, p.175-189, 1998.

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A.; PEREZ, D. V.; MENEGUELLI, A. G. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.41, n.3, p.469-476, mar, 2006.

BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods os soil analyses**. Madison: American Society of Agronomy, p.374-390, 1965.

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

BORDINI, M. C. **Manejo da regeneração natural de vegetação de cerrado, em áreas de paisagem, como estratégia de restauração na fazenda Santa Maria da Jauru, município de Porto Esperidião. MT**. Dissertação (Mestrado) , 92p. Piracicaba, ESALQ/USP, 2007.

CAMILOTTI, F.; ANDREOLI, I.; MARQUES, M.O. Atributos físicos de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola** , v.26, n.3, pp. 738-747, set/dez, 2006.

CAMILOTTI, F.; MARQUES, M.O.; ANDRIOLI, I.; SILVA, A.R.; JUNIOR, L.C.; NOBILE, F.O. Acúmulo de metais pesados em cana-de-açúcar mediante a aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia agrícola**, v.27, pp.284-298, 2007.

CAMPOS, F. S. **Uso de lodo de esgoto na reestruturação de um Latossolo Vermelho degradado**. 106p. Dissertação (Mestrado), Ilha Solteira, UNESP, 2005.

CANZIANI, J.R.; OSAKI, M.M. Análise econômica para reciclagem agrícola do lodo de esgoto na ETE Belém. **SANARE** , v.11, n.11, p.9-12, 1999.

CARVALHO, J. C. **Condição dos agregados e da constituição microbiológica de solos submetidos a diferentes usos e manejos agrícolas em Selverínia (MS)**. Dissertação (Mestrado) , 97p. UNICAMP - Instituto de Geociências, 2006.

CHIBA, M.K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo parâmetros de fertilidade, nutrição da planta e rendimento da cultura**. 142p, Tese (doutorado), Piracicaba, ESALQ;USP, 2005.

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E.; OLIVEIRA, F.C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. II - Disponibilidade de nitrogênio e componentes de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** , v.32, pp. 653-662, 2008.

COLINO, M. D. **Uso de lodo de esgoto de estações de tratamento de água e esgoto como condicionador de solo, com ênfase nas propriedades físicas do solo**. Tese (Doutorado) , 116p. Botucatu, UNESP, 2006.

COLODRO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. Tese (Doutorado) , 82p. Campinas, UNICAMP/FEAGRI, 2006.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução 375/06** - Critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, 32p, Brasília, 2006.

CORRÊA, R. S. Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** , v.39, n.11, pp. 1113-1119, Novembro, 2004.

CORRÊA, R.S.; CORRÊA, A.S. Valoração de biossólidos como fertilizantes e condicionadores de solo. **SANARE** , 16, p. 58-65, 1998.

CORRÊA, R.S.; WEATHERLEY, R.E. Modelling the risk of nitrate leaching From two soils amended with five different biosolids. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** , v.20, pp. 619-626, 2005.

CORRÊA, R.S.; FONSECA, Y.M.; CORRÊA, A.S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.04, pp. 420-426, 2007.

CORRÊA, R. S.; WEATHERLEY, R. E. Modelling the risk of nitrate leaching From two soils amended with five different biosolids. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** , v.29, pp. 619-626, 2005.

COURACCI FILHO, B. et al. Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo. In: CAMPOS, J.R (Coord) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, Cap.13, 464p. 1999.

DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELO, E.F.C. Dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Eucaliptus pellita* e *Acacia mangium*. In: Simpósio Sul-americano, 1./ Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 2., Foz de Iguaçu, 1994. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.515-525, 1994.

DIAS, B.D.; SILVA, C.A.; SOARES, E.M.; BETTIOL, W. Estoques de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, pp. 701-711, 2007.

DUARTE, E.R. Análise da contaminação parasitária em compostos orgânicos produzidos com biossólidos de esgoto doméstico e resíduos agropecuários. **Ciência Rural**, v.38, n.12, pp. 1279-1285, agosto, 2008.

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

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro – RJ, 1979.

FERREIRA, M.M.M.; et al. Influência das adubações nitrogenadas e orgânica no tomateiro sobre os teores de $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ no perfil do solo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.7, n.2, p.233-239, 2003.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual prático para compostagem de bio sólidos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 84p. 1999.

FLORES-AYLAS, W.W.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.38, n.2, pp. 257-266, fev, 2003.

FRANCO, A.A. et al. Revegetação de áreas de mineração de bauxita em porto Trombetas – PA com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas. In: Simpósio Sul-americano, 1./ Simpósio Nacional Recuperação de Áreas Degradadas, 2., Foz de Iguaçu, 1994. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.145-153, 1994.

GADIOLI, J.L.; NETO, P.F. Rendimento de milho e de feijão preto cultivado em solo acrescido de lodo de esgoto. **Sanare**, v.21, n.21, pp. 53-58, jan./jun., 2004.

GALDOS, M.V.; CAMARGO, I.C. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, pp. 569-577, 2004.

GOBBI, M.A. **Potencialidade do uso do lodo de esgoto como fonte de macronutrientes no cultivo do milho (*Zea mays* L) no município de Maringá - PR**. Tese (Doutorado) , 136p, Botucatu – SP, UNESP, 2003.

GOMES, S.B.; NASCIMENTO, C.W.; BIONDI, C.M.; ACCIOLY, A.M. Alterações químicas em argissolo tratado com lodo de esgoto. **Caatinga**, Mossoró, v.18, n3, pp. 185-194, jul./set, 2005.

GONÇALVES, J.L.; VAZ, L.M.; AMARAL, T.M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais II: Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: W. Bettiol, O. A. Camargo, **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. 312p, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

GOUVÊA, L.C.; NETO, J.T. Avaliação da distribuição de metais pesados durante o processo de compostagem de lodo de esgoto estritamente doméstico. **ANAIS** 19o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental , pp. 346 – 361, 1997.

GUEDES, M.C. **Ciclagem de nutrientes após a aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre Latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. Tese (Doutorado), 168p, Piracicaba, ESALQ/USP, Fevereiro, 2005.

GUEDES, M.C.; ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, F.P. Propriedades químicas do solo e nutrição de eucalipto em função da aplicação do lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.30, pp. 267-280, 2006.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia** , v.12, n.1, pp. 54-64, 2000.

HERWIJNEN, R.V.; AL-TABBAA, A.; HUTCHINGS, T.R.; MOFFAT, A.J.; OUKI, S.K.; JOHNS, M. L. The Impact of Waste Compost-Based Soil Amendments on the Leaching Behavior of a Heavy Metal Contaminated Soil. **Environmental engineering science**, v.24, n.7, 2007.

IGUE, T.; LASCA, D.H. **Experimentação de campo**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, BT 191, 32p., 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990. 96p.

JESUS, R.M. Revegetação: da teoria à prática – técnicas de implantação. In: Simpósio Sul-americano,1./Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 2., Foz do Iguaçu, 1994. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.123-134, 1994.

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**, v.15, p.237-240, 1991.

JORDÃO, C.B. **Especiação e grau de saturação de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto**. Tese (Doutorado), 83 p. Piracicaba, ESALQ/USP, 2006.

KAGEYAMA, P.Y.; REIS, A.; CARPANEZZI, A.A. Potencialidade e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, Curitiba, 1992, **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, p.1-7, 1992.

KIEHL, E. **Manual de Compostagem**. Piracicaba: Editora E.J. Kiehl, 171p., 1998.

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

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia: relação solo-água-plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 262p, 1979.

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

KORBOULEWSKY, N.S.D. Environmental Risks of Applying Sewage Sludge Compost to Vineyards: Carbon, Heavy Metals, Nitrogen, and Phosphorus Accumulation. **Journal of Environmental** , v.31, pp. 1522-1527, 2002.

LARCHEVÊQUE, M.; BALDY, V.; MONTÈS, N.; FERNANDEZ, C. Short-term Effects of Sewage-Sludge Compost on a Degraded Mediterranean Soil. **Soil Science Society of America Journal** , v.70, n.4, jul/aug, 2006.

LEANER, R.W.; SHAW, B.A. A simple apparatus of measuring no capillary porosity on extensive scale. *Journal American Society of Agronomy*, v.33, p.1003-1008, 1941.

LEITE, L.L.; MARTINS, C.R.; HARIDASAN, M. Efeitos da descompactação e adubação do solo na revegetação espontânea de uma cascalheira no Parque Nacional de Brasília. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1./ SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz de Iguaçu, 1994. **Anais...** Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.527-534, 1994.

LUCHESI, L.A.C. et al. Pastagens: um sistema de produção para reabilitação de áreas degradadas no Brasil. In: Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, Curitiba, 1992, **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, p.83-92, 1992.

LUDUVICE, M. Experiência da Companhia de Saneamento do Distrito Federal na reciclagem agrícola de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA, p. 153-162, 2000.

MACEDO, A.C.; KAGEYAMA, P.Y.; COSTA, L.G.S. **Revegetação: matas ciliares e de proteção ambiental**. São Paulo: Fundação Florestal, SMA, 26p, 1993.

MACHADO, M.F.; FIGUEIREDO, R.F.; FILHO, B.C. Produção brasileira de lodos de esgotos. **SANARE** , v.22, p. 66-75, 2004.

MARCIANO, C.R. **Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físicos-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo**. Tese (Doutorado), 93p. Piracicaba, USP/ESALQ, 1999.

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

MELFI, A.J.; MONTES, C.R. Impacto dos biossólidos sobre o solo. In: TSUTIYA, M.T. et al. **Biossólidos na agricultura**, Cap. 9, SABESP, São Paulo, 468p, 2001.

MELLO, V.E. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** , v.39, n.1, pp. 67-72, Janeiro, 2004.

MELO, W.J. et al. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre as frações da matéria orgânica e CTC de um solo Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.18, p.449-455, 1994.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: **Congresso Brasileiro de Ciência de Solo**, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais.... Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

MELO, W.J., MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W., CAMARGO, O. A. (Ed) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. EMBRAPA Meio Ambiente, p. 109-141, 2000.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T. et al. **Biossólidos na agricultura**. Cap. 11, SABESP, São Paulo, 468p., 2001.

MELO, L.C.; SILVA, C.A.; DIAS, B.D. Caracterização da matriz orgânica de resíduos. **Revista brasileira de ciências do solo**, pp.101-110, 2008.

MENDES FILHO, P.F. **Potencial de reabilitação do solo de um área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano**. Tese (Doutorado) , 89p. Piracicaba, ESALQ/USP, 2004.

MIKI, M.K.; ANDRIGUETTI, E.J.; SOBRINHO, P.A. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgoto. In: TSUTIYA, M.T. et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 1 ed., cap 3., p.41-87, 2001.

MILLER, R.H. Soil microbiology aspects of recycling sewage sludge and waste effluents on land. In: **Proceedings of the joint conference on recycling municipal sludge and effluents in land**. Champaign, Illinois, p.79-90, 1973.

MURAISHI, C.T. **Modificações de propriedades químicas e agregação de um Latossolo de cerrado sob sistemas de cultivo e adubações orgânica e/ou mineral**. Tese (Doutorado), 104p, Ilha Solteira, UNESP, 2006.

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

OJEDA, G.; TARRASON, D.; ORTIZ, O.; ALCANIZ, J. Nitrogen losses in runoff waters from a loamy soil treated with sewage sludge. **Agriculture, Ecosystems and Environment** , v.117, pp. 49-56, 2006.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ABREU JUNIOR, C.H. Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.12, p.1787 – 1793, dez. 2002.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.58, n.4, p.807-812, out/dez. 2001.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; JUNIOR, C.M. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.4, pp. 529-538, 2002.

OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F. **Solos da folha de Mogi Mirim**. Campinas: Instituto Agrônomo, 119p., 1999, Boletim científico n.46.

PAGLIA, E.C.; SERRAT, B.M.; FREIRE, C.A.; BORSATTO, A. M. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, pp. 94-100, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MOGI GUAÇU. Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Meio Ambiente. **Relatório**. Mogi Guaçu, 2005.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J.O. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. **Pesquisa agropecuária brasileira Brasília**, v.35, n.1, pp. 103-114, jan, 2000.

QUINTANA, N.R. **Análise econômica da aplicação de biossólido na agricultura**. Dissertação (mestrado),133p, Botucatu, UNESP, Junho, 2006.

RAIJ, B.V et al. **Análise química para avaliação da fertilidade em solos tropicais**, Campinas: Instituto Agrônomo, v.1, 285p., 2001.

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade**. Instituto Agrônômico de Campinas. 31p. Campinas, 1983. Boletim Técnico n.81.

REMIGIO, A.F. **Estudo do processo de tratamento aeróbico conjugado de resíduos sólidos orgânicos**. Dissertação (mestrado), 120p. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 2001.

RESSETI, R.R.; SOCCOL, V.T.; NETO, G.K. Aplicação de vermicompostagem no controle patogênico do composto de lodo de esgoto. **SANARE** , v.12, n.12, p. 6 -15, 1999.

REZENDE, C.I. **Influência da aplicação de 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***. Dissertação (Mestrado), 97p, Piracicaba, ESALQ/USP, Fevereiro, 2005.

ROCHA, G.N.; MOURA, J.L. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado por biossólidos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, pp. 623-639, 2004.

ROS, C.O., AITA, C., CERETTA, C.A., FRIES, M.R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.17, pp. 257-261, 1993.

SAINJU, U.M.; SINGH, B.P. et al. **Soil nitrate-nitrogen under tomato following, cover cropping and nitrogen fertilization**. Journal of Environmental Quality, Madison, v.28, n.6, p.1837-1844, 1999.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. **Utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 96p.,1997.

SHOBER, A.L.; SIMS, J.T. Integrating Phosphorus Source and Soil Properties into Risk Assessments for Phosphorus loss. **Soil Science Society of America Journal**; v.71, n.2, p. 551. Mar/Apr 2007.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; BERNARDES, C.A. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.5, pp. 831-840, maio, 2001.

SILVA, F., BOARETTO, A.; BERTON, R.; ZOTELLI, A. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.5, pp. 831-840, maio, 2001.

SILVA, P.H. **Produção de madeira, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo em plantios de *Eucalyptus grandis*, após a aplicação de lodo de esgoto.** Dissertação (mestrado), 118p. Piracicaba, ESALQ/USP, 2006.

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

SOARES, M.T. **Taxas de mineralização e de lixiação do nitrogênio e alterações da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo degradado e outro não degradado fertilizados com biossólidos e cultivados com *Eucalyptus grandis*.** Tese (doutorado), 161 p, Piracicaba, ESALQ/USP, agosto, 2003.

SOCOL, V.T.; PAULINO, R.C. Riscos de contaminação do agrossistema com parasitos pelo uso do lodo de esgoto. In: W. Bettioli; O. A. Camargo, **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto** (pp. 245-258). Jaguariúna, EMBRAPA, 2000.

SORREANO, M.C. **Avaliação de aspectos da dinâmica de florestas restauradas com diferentes idades.** Dissertação (Mestrado), 145p, Piracicaba, ESALQ/USP, 2002.

SOARES, M.T.S.; GONÇALVES, J.L.M.; ALVAREZ, L.F. et al. Uso de bio sólidos em povoamentos de eucalipto em solos degradados e não-degradados – transferência de nitrogênio. Disponível em: < <http://www.cemac-ufla.com.br/trabalhospdf/trabalhos%20voluntarios/Aprovados%20em%20pdf/protoc%20101.pdf>> Acesso em: 31/05/2004.

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 bio sólidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, pp. 117-123, 2005.

TSUTIYA, M.T. Características de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: _____, **Bio sólidos na agricultura**. SABESP, São Paulo, 468p., 2001.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de bio sólidos. In: _____, **Bio sólidos na agricultura**. SABESP, São Paulo, 468p., 2001.

VENTURINI, N.; DUBOV, E.; VALE, F.R.; DAVIDE, A.C. Adubação mineral do angico-Amarelo (*Peltophorum dubium* (SPRENG.) TAUB.). **Pesquisa agropecuária brasileira Brasília**, v.34, n.3, pp. 441-448, mar, 1999.

VIEIRA, R.F. Lodo de Esgoto na Agricultura: estudo de caso. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n.20, Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2004.

VIEIRA, R.F.; CARDOSO, A.A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.7, pp. 867-874, jul, 2003.

VIEIRA, R.F.; TANAKA, R.T.; TSAI, S.M.; SILVA, D.V. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.9, pp. 919-926, set, 2005.

VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, cap.21, p.299-314, 1965.

WAGNER A.; CHUEIRI, B.M. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, pp. 502-508, 2007.

WISNIEWSKI, A.T. et al. O uso do lodo de esgoto da ETE – Belém na recuperação de áreas degradadas por mineração de calcário. **Sanare**, v.7, p. 76-85, jan. 1997.