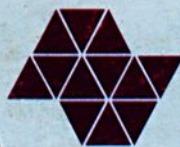


unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Pós-graduação em Agronomia

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM
LATOSSOLO VERMELHO TRATADO COM LODO
DE ESGOTO E CULTIVADO COM SORGO**

HÉLIO PERECIN JÚNIOR

1210001612



Ilha Solteira - SP

unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM
LATOSSOLO VERMELHO TRATADO COM LODO DE
ESGOTO E CULTIVADO COM SORGO**

HÉLIO PERECIN JÚNIOR

Engenheiro Agrônomo

Prof.^a. Dr.^a. MARLENE CRISTINA ALVES

Orientadora

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia da Universidade Estadual
Paulista, Campus de Ilha Solteira, para a
obtenção de Título de Mestre em Agronomia,
Especialidade: Sistemas de Produção.

ILHA SOLTEIRA - SP

Junho - 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM
LATOSSOLO VERMELHO TRATADO COM LODO DE
ESGOTO E CULTIVADO COM SORGO

NEW 273

HÉLIO PERECIN JÚNIOR

FICHA CATALOGráfICA

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

Perecin Júnior, Hélio

P434p

Propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho tratado com lodo de
esgoto e cultivado com sorgo / Hélio Perecin Júnior. – Ilha Solteira : [s.n.], 2005
xi, 57 p. :il. (algumas color.)

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia
de Ilha Solteira. Área de concentração: Sistemas de Produção, 2005

Orientador: Marlene Cristina Alves

Bibliografia: p. 45-52

650 650 650
1. Lodo de esgoto. 2. Físico-química do solo. 3. Sorgo – Produção.

50107005

ILHA SOLTEIRA - SP
Junho - 2005

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO TRATADO COM LODO DE ESGOTO E CULTIVADO COM SORGO

AUTOR: HELIO PERECIN JUNIOR

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES
DEPARTAMENTO DE FITOSSANIDADE, ENGENHARIA RURAL E SOLOS - FE - UNESP -
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA/SP

Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO
DEPARTAMENTO DE FITOSSANIDADE, ENGENHARIA RURAL E SOLOS - FE - UNESP -
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA/SP

Prof. Dr. JAIR ALVES DIONÍSIO
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA - UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARANÁ - UFPR - CURITIBA/PR

Data da realização: 05 de julho de 2005.

Marlene Cristina Alves

Presidente da Comissão Examinadora
Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Proc. 055/05 - NPD 143

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCN. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO
28.09.05	30.09.05
REGISTRADO POR	TOMBO
Caixa	Te. 1612
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
ilustração Autor R\$ 10,00	P434p



Co
sy 329863
sy 59065

OFEREÇO

A minha querida mãe Nilita, por sempre estar ao meu lado, e em qualquer situação; sua cooperação sempre é decisiva para a conclusão.

Às minhas irmãs Francine e Cláudia, preocupadas com o melhor, sempre me auxiliando e me ajudando quando houve necessidade.

A Francielli (paixão), por ter estado comigo, em grande parte dos momentos difíceis e cansativos dessa jornada.

DEDICO

Ao meu pai,

Hélio Perecin,

Que me guia e me faz seguir o caminho, com educação, humildade, perseverança e fé.

Aquele que me ensinou a ser um “cidadão dos estudos” assim como sempre proferiu sua vida.

AGRADECIMENTOS

- À Deus pela luz, e o privilégio de existir, acompanhado de todas essas pessoas que estão sempre ao meu lado e só me fazem bem.
- À prof.^a Dr.^a Marlene Cristina Alves, pela ajuda, orientação, amizade, dedicação e principalmente paciência para realização dessa pesquisa.
- Ao prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho, pela atenção incontestável e pela amizade e ajuda nos momentos cruciais.
- Aos professores doutores Francisco Maximino, Shizuo, Max Faria, Salatier Buzetti, Walter Valério, Kuniko Iwamoto, pelos conhecimentos atribuídos e pela atenção dispensada.
- Aos técnicos de laboratório da FE/UNESP: Ricardo, Valdivino e João, e ao estagiário Hernandes pelo apoio e ajuda prestado ao longo do curso.
- Aos funcionários de Biblioteca Central da Faculdade de Engenharia/UNESP-Campus de Ilha Solteira e em especial ao João José Barbosa, pela revisões e orientações.
- Aos meus amigos Ké, Maurício, Cia, e Marco, por nunca deixarem a peteca cair.
- Meus companheiros e amigos de trabalho: Geraldo, Cláudia e Neli, pelo incentivo e ajuda em todos os passos dessa jornada.
- Aos professores Evaristo e Pedro, pelas orientações estatísticas.
- Ao engenheiro Agrônomo Gilberto Colodro, pela amizade e coordenadas indispensáveis para a conclusão desse.
- Ao proprietário do Sítio Vitória, Fernando, pela área cedida para a realização do experimento.
- A diretoria da SANEAR, pela disposição do material empregado na pesquisa.
- Aos amigos da pós-graduação Mateus, Karen, Tobal, Manuel, Flávia, Riení, Fernando, Paulo entre todos que comigo conviveram nessa jornada.
- E à todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a conclusão dessa pesquisa.



ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1- Resíduo sanitário.....	3
2.2- Lodo de esgoto.....	5
2.3- Caracterização do lodo de esgoto.....	6
2.4- Uso do lodo de esgoto.....	7
2.4.1- Lodo de esgoto como condicionante químico e físico do solo.....	9
2.5- Importância da cultura do sorgo.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1- Localização e caracterização da área experimental.....	14
3.2- Delineamento experimental e tratamentos.....	15
3.3- Implantação do experimento.....	16
3.4- Caracterização do lodo de esgoto.....	19
3.4.1- Origem do lodo de esgoto.....	19
3.4.2- Análise química do lodo de esgoto.....	20
3.4.3- Análise microbiológica do lodo de esgoto.....	21
3.4.3.1- Análise parasitológica.....	22
3.4.4- Análise química para fins de toxicidade do lodo de esgoto.....	22
3.5- Análises do solo.....	22

3.5.1- Análise física do solo.....	22
3.5.1.1- Granulometria do solo.....	22
3.5.1.2- Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo...	23
3.5.1.3- Densidade do solo.....	23
3.5.1.4- Resistência à penetração e umidade do solo.....	23
3.5.1.5- Estabilidade de agregados em água.....	23
3.5.2- Análise química do solo.....	24
3.6- Análise de rendimento	24
3.7- Análise estatística.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1- Propriedades físicas do solo.....	25
4.1.1- Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo.....	25
4.1.2- Resistência à penetração e umidade do solo.....	28
4.1.3- Estabilidade de agregados em água.....	30
4.2- Propriedades químicas do solo.....	32
4.3- Rendimento e matéria seca do sorgo.....	42
5- CONCLUSÕES.....	44
6- REFERÊNCIAS	45
7- ANEXOS	53



LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
01. Composição geral do lodo de esgoto	7
02. Precipitação pluvial registrada no período de abril a agosto de 2003. Município de Birigüi-SP.....	15
03. Resultados das análises químicas do lodo de esgoto utilizado.....	20
04. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo para os tratamentos estudados.....	26
05. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo para os tratamentos e profundidades estudadas.....	27
06. Valores médios de resistência à penetração para os tratamentos estudados.....	29
07. Valores médios de resistência à penetração para os tratamentos e profundidades estudados.....	29
08. Valores médios do diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP tratado com lodo de esgoto.....	31
09. Valores médios de diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP, tratado com lodo de esgoto, nos tratamentos e profundidades estudados.....	32
10. Valores médios de fósforo (P); matéria orgânica (MO); pH; potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); hidrogênio+alumínio (H+Al); soma de bases (SB); capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V), para os tratamentos estudados.....	34
11. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V% para os tratamentos e profundidades estudados.....	35
12. Rendimento de grãos e matéria seca do sorgo granífero num Latossolo Vermelho de Birigui, SP, para os tratamentos estudados..	43
13. Resultado da análise dos parâmetros parasitológicos.....	54
14. Análise química do lodo de esgoto da ETE Araçatuba-SP, para fins de toxicidade. Ensaio de lixiviação.....	55
15. Análise química do lodo de esgoto da ETE Araçatuba-SP, para fins de toxicidade. Ensaio de solubilização.....	56
16. Análise química do lodo de esgoto da ETE Araçatuba-SP, para fins de toxicidade. Ensaio na massa bruta.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
01. Vista geral da área experimental.....	16
02. Disposição do lodo de esgoto na superfície do solo.....	17
03. Distribuição manual do lodo de esgoto na superfície do solo.....	18
04. Vista da Estação de Tratamento de Esgoto de Araçatuba.....	20
05. Relação entre doses de lodo de esgoto e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.....	31
06. Doses de lodo de esgoto e teor de fósforo em um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.....	33
07. Doses de lodo de esgoto e pH de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.....	38
08. Doses de lodo de esgoto e teor de potássio de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.....	39
09. Doses de lodo de esgoto e acidez potencial (H+Al) de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.....	40
10. Doses de lodo de esgoto e teor de alumínio de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.....	41
11. Doses de lodo de esgoto e saturação por bases de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.....	42



PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO TRATADO COM LODO DE ESGOTO E CULTIVADO COM SORGO

(*Sorghum bicolor* L.)

Autor: Helio Perecin Júnior

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

RESUMO

O lodo de esgoto produzido pelas Estações de Tratamento de Esgoto e utilizado na agricultura, proporciona tanto a diminuição da carga poluidora em aterros sanitários, como também torna-se alternativa de adubação orgânica, sendo um composto fertilizante e condicionante do solo; Neste trabalho foi estudada a influência de doses do lodo de esgoto em algumas propriedades físicas e químicas de um LATOSSOLO VERMELHO, cultivado com sorgo, no município de Birigui, SP. Adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso com 6 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram: 5 Mg ha⁻¹; 10 Mg ha⁻¹; 20 Mg ha⁻¹ e 40 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto a base seca; testemunha (sem aplicação de lodo) e adubação mineral. Após a colheita foram retiradas amostras de solo em três camadas: 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e de 0,20-0,40 m. As análises físicas do solo realizadas foram: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência à penetração, umidade do solo e estabilidade de agregados. As análises químicas realizadas foram: matéria orgânica, pH, cálcio, magnésio, potássio, alumínio, hidrogênio e fósforo. Os resultados indicaram diferença significativa para a porosidade total e estabilidade de agregados do solo quando se analisaram os tratamentos. Em relação às propriedades químicas houve um acréscimo da quantidade de fósforo e potássio presentes no solo, quanto maior a dose de lodo de esgoto aplicada. Devido à acidez do lodo aplicado, quanto maior a dose de lodo, menor foi o valor do pH da solução do solo. Concluiu-se que, para o período de



estudo, e com uma aplicação do lodo de esgoto, as doses influenciaram algumas propriedades físicas e químicas do solo. A aplicação de lodo de esgoto não influenciou o rendimento de grãos de sorgo no primeiro ano de cultivo.

Palavras chave: saneamento ambiental, qualidade do solo, recuperação do solo, propriedades do solo, *Sorghum bicolor* L.



**PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE RED LATOSOIL
TREATED WITH SEWAGE SLUDGE AND GROWN WITH SORGHUM
(*Sorghum bicolor* L.)**

Author: Hélio Perecin Junior

Advisor: Dr. Marlene Cristina Alves

The sewage sludge produced by the Sewage/ Waste Water Treatment Stations and used in agriculture provides a reduction of the polluting charge in sanitary landfills, as well as it turns to be an alternative for organic fertilization being a fertilizing compound and soil conditioner. On this research, the influence of dosage of sewage sludge in some physical and chemical properties of a RED LATOSOIL, grown with Sorghum, was studied at Birigui town, in São Paulo state, Brazil. It was adopted the experimental outline of random blocks with 6 treatments and 4 repetitions. The treatments were: 5 Mg ha⁻¹, 10 Mg ha⁻¹, 20 Mg ha⁻¹, 40 Mg ha⁻¹ of sewage sludge in dry base; control sample (without application of sludge) and mineral fertilization. After the harvest, samples of the soil were taken in three layers: 0.00-0.10 m; 0.10-0.20 m; and 0.20-0.40 m. The soil physical analyses carried out were the following: bulk density, macroporosity, microporosity, total porosity, penetration resistance, soil moisture and aggregate stability. The soil chemical analyses were: organic matter, pH, Calcium, Magnesium, Potash, Aluminum, Hydrogen and Phosphorous. The results indicated a significant difference in total porosity and soil aggregate stability when the treatments were analyzed. Concerning to the chemical properties, there was an increase on the amount of Phosphorous and Potassium present in the soil, as much as the amount of the applied sludge was increased. Due to the acidity of the applied sludge, the highest the sludge



dosage, the lower was the pH of the soil solution. The drawn conclusion, for the period of study, and with one application of sewage sludge, was that the doses influenced significantly some the physical and chemical properties of the soil. The application of the sewage sludge did not influence the yield of *Sorghum* grains in the first year of harvesting.

Key words: environmental sanitation, soil quality, soil recovering, soil properties, *Sorghum bicolor* L.



1 - INTRODUÇÃO

O uso na agricultura de resíduos sólidos produzidos pelas estações de tratamento de esgoto vem sendo uma alternativa para o seu destino final, a água servida é retornada aos mananciais em condições satisfatórias após este tratamento. Outro ponto a considerar é que, quando utilizado na agricultura, diminui-se o material descarregados nos aterros sanitários, o qual aumentam as áreas poluídas das cidades. A disposição final do lodo de esgoto representa em média 60 % do custo do tratamento de esgoto. A sua utilização como fertilizante agrícola representaria uma A variabilidade da constituição desse resíduo é diversa e depende da área produtora, podendo ser exclusivamente residencial, o que caracteriza um resíduo doméstico ou em outro caso, proceder de regiões industriais, tanto um como outro pode carregar substâncias como contaminantes químicos e orgânicos, que pode impedir a sua utilização na agricultura.

Dependendo da tecnologia empregada no tratamento do esgoto, o lodo pode conter patógenos, compostos orgânicos de difícil decomposição no solo e metais pesados como o cádmio, o níquel e o crômio, o que impossibilita o seu uso em qualquer cultura agrícola, portanto para se utilizar o lodo deve-se estudar a sua composição de lodo, para que seja escolhida a cultura e a quantidade anual a ser empregada e, preferencialmente em culturas que não sejam de consumo direto, protegendo a cadeia alimentar da contaminação. As culturas de milho, trigo, cana-de-açúcar, soja e sorgo são ideais para o uso do lodo de esgoto, pois além de aproveitarem eficientemente seus nutrientes, são totalmente mecanizáveis, o que

elimina o risco de qualquer tipo de contaminação. Portanto, deve-se estar atento ao seu uso indiscriminado, pois a constituição e tratamento desse lodo é que vai determinar se ha ou não restrições para sua utilização.

O sorgo é uma das culturas em que o lodo pode ser utilizado, pois este apresenta média resistência à seca, e que por isso tende a substituir parte da produção de milho, principalmente em plantios nos meses de estiagem pluvial. Procurando destino menos poluente para resíduos das Estações de Tratamento de Esgoto, formas alternativas de adubação orgânica, e verificação do comportamento do lodo de esgoto como condicionante das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, desenvolveu-se este trabalho, que teve o objetivo de estudar a influência do lodo de esgoto em algumas propriedades físicas e químicas de um LATOSSOLO VERMELHO da região de Birigui, Estado de São Paulo, cultivado com sorgo granífero.



2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1-Resíduos sanitários e meio ambiente

A grande quantidade de resíduos produzidos nas cidades decorre do aumento populacional e industrial, sendo que seu destino final, acarretam problemas ambientais e físico, pois é cada vez mais limitante o espaço reservado ao armazenamento de dejetos urbanos e principalmente, das águas residuais. As águas servidas, quando lançadas aos rios, constituem o principal agente de poluição em regiões com alta densidade demográfica e industrial (NASCIMENTO, 2003, p.1; SILVA et al., 2001, p.831).

Esgotos residenciais e industriais despejados em mananciais causam sérios problemas à saúde humana. Seu destino sempre foi uma preocupação, principalmente quando o objetivo é o bem estar da população e a preocupação com a contaminação de aquíferos. No Brasil 10 bilhões de litros de esgoto, residencial e industrial, são lançados aos rios anualmente, sem tratamento e gerando graves problemas ambientais e de saúde (SETI, 2000, p.1).

O esgoto sanitário é o “despejo líquido constituído de esgotos domésticos e industriais, águas de infiltração e contribuição pluvial parasitária”, segundo define a NBR 9648 (ABNT, 1986), norma brasileira que classifica os resíduos originados no processo de sistema de coleta.

O tratamento do esgoto urbano é uma técnica utilizada com o objetivo principal de redução da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio, a quantidade de



oxigênio necessária para que microrganismos presentes na água consigam degradar (oxidar) determinada matéria orgânica), e a legislação vigente no Estado de São Paulo, estabelece uma taxa mínima de DBO de 60 mg L^{-1} , em efluentes lançados nos corpos d'água (SOERENSEN et al., 1999, p.88) . Portanto, realizar o tratamento de esgoto, é a melhor forma de proporcionar um destino qualitativo para os dejetos domésticos, principalmente se houver a possibilidade de utilização local destes produtos, e que torne barato o seu transporte e armazenamento.

Do ponto de vista técnico, já são conhecidas inúmeras opções para se fazer o tratamento dos esgotos, cada uma delas com suas vantagens e/ou desvantagens do ponto de vista de área necessária, eficiência obtida no tratamento, utilização ou não de equipamentos eletromecânicos, sofisticação ou não de implantação e operação, necessidade ou não de mão-de-obra especializada, todos fatores que facilitam a escolha da técnica a ser empregada, adaptada ao tamanho e costumes da fonte produtora (NUVOLARI, 2003, p.228).

No Brasil, o esgoto é tratado seguindo Normas Técnicas ABNT-NBR 10004 e mesmo atendendo aos padrões de qualidade definidos na Norma Técnica, relacionados ao grau de estabilização, teor de metais pesados e patógenos, a utilização dos produtos gerados pelo tratamento, seja para qualquer finalidade, requer estudo minucioso de transporte e destino, para que não se contamine o ambiente e tão-pouco a população.

A grande maioria desses resíduos é contaminante do ambiente, devido aos agentes patológicos, substâncias tóxicas e metais pesados. Geralmente os metais pesados e substâncias tóxicas são resíduos das indústrias; já o esgoto domiciliar apresenta-se como fonte direta de agentes patológicos, mas contém níveis



desprezíveis de metais pesados e produtos tóxicos (ANDREOLI & PEGORINI, 1998, p.108).

Como exemplo, em regiões metropolitanas como as do Grande Recife ou do Distrito Federal, pode-se estimar uma produção diária de 200 toneladas de lodo de esgoto (massa úmida com 15 % de sólidos) (NASCIMENTO, 2003, p.1).

É importante ressaltar que nem todo o esgoto pode ser utilizado, sendo necessária uma rigorosa análise de seus componentes, a fim de se garantir a eficácia e a salubridade de seu uso (SABESP, 2003).

2.2-Lodo de esgoto

Em alguns países da Europa, assim como nos Estados Unidos e no Canadá, os compostos orgânicos oriundos do sistema de tratamento de esgoto, são bem difundidos e bastante utilizados na agricultura. Nos Estados Unidos, do total de lodo de esgoto produzido, cerca de 25 % tem destino agrícola, e em alguns estados pode chegar a 70 %. Na Europa e Canadá esse índice é de 37 % do total produzido, segundo Nascimento (2003, p.1) e Tsutiya (1999, p.744).

No tratamento do esgoto, a água residuária é submetida a um processo biológico de degradação da matéria orgânica, tendo como subproduto o lodo de esgoto, que pode tanto ser estabilizado ou não, dependendo do tipo de tratamento a que é submetido. Durante esse processo, microorganismos alimentam-se da matéria orgânica, transformando-a em substâncias mais simples, que contêm elementos indispensáveis ao crescimento de vegetais (nitrogênio e fósforo). O produto sólido, resultante do processo é o lodo de esgoto, que dependendo dos teores de metais



pesados e da sua carga microbiológica contaminante, pode ser ou não utilizado em determinadas culturas.

O lodo de esgoto é uma denominação genérica para o material sólido orgânico e inorgânico, removidos das águas residuais, provenientes das residências e estabelecimentos comerciais e industriais, nas estações de tratamento de esgoto (BERTON, 1994, p. 39); ou seja, é um composto resultante do tratamento do esgoto urbano, no qual são encontrados teores variáveis de elementos, e que estão relacionados com sua origem.

Segundo Bettiol & Camargo (2000, p.70), a disposição final do lodo de esgoto em países desenvolvidos seguem determinados destinos: uso agrícola, aterro, incineração, disposição oceânica, recuperação de áreas degradadas (reflorestamento) e outros. Atualmente alguns países estão abolindo a disposição oceânica por pressão de organizações ecológicas.

2.3- Caracterização do lodo de esgoto

Para Malavolta et al. (2000, p. 61) há vários tipos de lodo, lama ou resíduos orgânicos que podem ser produzidos e, dependem do método de tratamento do esgoto: lodo sedimentoso, resultado da deposição simples; lodo digerido, resultando a decomposição anaeróbica do sedimentado; lodo ativado, produzido por um tratamento aeróbico especial e rápido e deposição de matérias em suspensão; lodo ativado e digerido; lodo precipitado quimicamente.

Algumas características da composição geral do lodo de esgoto estão apresentadas na Tabela 1.



Tabela 1. Composição geral do lodo de esgoto.

Características	Lodo não tratado		Lodo digerido		Lodo ativado
	Faixa	Valor típico	faixa	Valor típico	Faixa
Mat.. Seca Total (%)	2,0-8,0	5,0	6,0-12,0	10,0	0,8-1,2
Proteína (% MS)	20,0-30,0	25,0	15,0-20,0	18,0	32,0-41,0
Nitrogênio (N% MS)	1,5-4,0	2,5	1,6-6,0	3,0	2,4-5,0
Fósforo (P_2O_5 % MS)	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5	2,8-11,0
Potássio (K_2O % MS)	0,0-1,0	0,4	0,0-3,0	1,0	0,5-0,7
Celulose (% MS)	8,0-15,0	10,0	8,0-15,0	10,0	-
PH	5,0-8,0	6,0	6,5-7,5	7,0	6,5-8,0

Fonte: Metcalf & Eddy (1991) adaptado por Rocha & Shiota (1999).

2.4- Uso agrícola do lodo de esgoto

Segundo Melo et al. (1994, p.450) e Levy (1999, p.1), o lodo de esgoto contém nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, além de favorecer a retenção de água no solo e de disponibilizar gradativamente os nutrientes contido no composto.

Considerado resíduo orgânico, o lodo de esgoto pode ser utilizado na agricultura desde que respeitado os limites e normas de aplicação vigentes. Os benefícios são muitos, como condicionante e fertilizante do solo, e por ajudar a conter o problema de armazenagem desses resíduos sólidos, que vem sendo um grave entrave ao meio ambiente. Há de se destacar a variação do pH dos compostos, podendo ser resultado da natureza do material ou do tipo de tratamento a que foi submetido, e que influenciará no seu aumento ou diminuição, na solução do solo, segundo Berton et al. (1989, p.189), Anjos et al.(2000, p.935), Silva et al. (2001, p.833), Oliveira et al. (2002, p.515) e Nascimento (2004, p.391), o pH na solução do solo tende a aumentar quando se utiliza o lodo calado, já para Vaz et al.

(2002, p.750), a aplicação de lodo de esgoto sem tratamento (com pH ácido), diminui o pH da solução do solo.

A utilização do lodo requer cuidados quanto: a aptidão do solo que receberá o composto, a condicionantes ambientais e a restrição ao uso para determinados tipos de culturas (SANEPAR, 2000, p.1). No Brasil a legislação ainda não definiu valores para teores de metais tóxicos ou de quantidade máxima de lodo a ser aplicada (Raij et al., 1997, p.33). Já a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos USEPA por meio de uma regulamentação (EPA), definiu lodo de esgoto doméstico como um produto sólido orgânico produzido por processos de tratamento dos esgotos municipais (de composição microbiana parcial), e que pode ser reciclado, sem que haja qualquer impacto negativo para o meio segundo Vaz et al. (2002, p.153) e TSUTIYA (1999, p. 744).

Os fertilizantes minerais e corretivos podem elevar a fertilidade do solo, porém são incapazes de melhorar as propriedades físicas, fato que, é peculiar à matéria orgânica. Vários fatores podem contribuir para aumentar ou diminuir a eficiência do lodo de esgoto no solo, como a temperatura, que inferior a 25° C tem facilidade para acumular matéria orgânica, enquanto que os sujeitos a temperaturas maiores tem tendência para sua decomposição(KIEHL ,1985, p.28). A matéria orgânica dos resíduos urbanos é o principal modificador do complexo coloidal do solo, alterando significativamente as propriedades químicas deste (BETTIOL, 2000). Assim pode-se dizer que essa fração coloidal influencia sua retenção de cátions trocáveis.

A matéria orgânica além de desenvolver a atividade microbiana no solo, melhora sua estrutura, o arejamento e sua capacidade de conservar a umidade, além disso tem efeito regulador na temperatura do solo, retarda a fixação dos ácidos fosfóricos minerais, fornece produtos de decomposição orgânica que ajudam no



desenvolvimento das plantas. Também é uma fonte lenta e uniforme de nitrogênio ativo e conseqüentemente tem uma benéfica influência na quantidade de proteína na planta (MALAVOLTA et al., 2000, p.29).

Segundo Raij et al. (1997, p.33), todos os resíduos de tratamento de esgoto com teores elevados de metais pesados devem ser de aplicação restrita, a fim de se evitar o acúmulo de determinados metais no solo.

Em relação ao aumento de produtividade, devido a aplicação de lodo, várias culturas estão sendo utilizadas nas pesquisas. A adição de lodo de esgoto proporciona significativo aumento da produção de matéria seca e da absorção de N, P, Ca, Mg e Zn pelas plantas de milho, quando adicionadas de 20 a 40 Mg ha⁻¹ para os solos Terra Roxa Estruturada, Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro (BERTON, 1989, p. 191). Para Nascimento (2004, p.391) doses crescentes de lodo de esgoto aumentaram a produção de matéria seca do milho e feijão, embora menor que a obtida pela fertilização mineral completa.

A aplicação de lodo de esgoto promoveu a produção de folhas frescas de couve, semelhante à obtida pela aplicação de esterco de curral e aplicação de uréia como fontes de N (ROCHA et al. 2003, p. 1440).

2.4.1- Lodo de esgoto como condicionante químico e físico do solo

Em muitos países onde o lodo de esgoto contendo quantidades altas de metais pesados é utilizado como adubo orgânico, a sua aplicação é recomendada somente para solos com pH acima de 6,5 (COSTA et al. ,1975, p.47).



A disponibilidade de muitos dos elementos fertilizantes, depende principalmente do nível de pH (acidez) da solução do solo, e também as atividades microbianas ficam desfavoráveis, em condições de solo “ácido”, (MALAVOLTA, 1987, p.26) e (MELLO et al. , 1987, p.63).

Os lodos geralmente são pobres em potássio devido ao processo de obtenção, que perde esse nutriente em solução. Por outro lado, pode apresentar teores elevados de fósforo, as vezes superiores ao nitrogênio, e o importante, cerca de 80 % deste P poderá estar disponibilizado no primeiro ano de aplicação (RAIJ et al., 1997, p.32).

Nascimento (2003, p.1) mencionou que as concentrações de nutrientes no lodo de esgoto variam amplamente entre localidades devido à sua origem e principalmente do processo de tratamento que o resíduo recebeu antes de sua disposição final, mas em termo geral ela se aproxima muito das concentrações de nutrientes encontradas em esterco animais. Essas características os tornam com potencial para fertilizante orgânico, visto que pode conter de 40 a 60 % de matéria orgânica.

O problema de patógeno contido no lodo de esgoto pode inviabilizar seu uso para diversas culturas, principalmente hortícolas e demais produtos consumidos crus. Em função da origem e do processo de obtenção utilizado, o lodo de esgoto apresenta composição muito variável, sendo um material rico em matéria orgânica (40-60 %), em nitrogênio e em alguns micronutrientes (BETTIOL & CAMARGO, 2000, p.75).

Solos com textura mais fina têm maiores concentrações de nitrogênio do que solos com textura mais grosseira, por outro lado, solos argilosos e barrentos são mal arejados e mal drenados, enquanto que os arenosos, têm excessiva aeração e



drenagem, com a aplicação de matéria orgânica há uma melhora na agregação e a estruturação de ambos os solos, corrigindo, conseqüentemente a restrição ou excesso de aeração e drenagem, pois a matéria orgânica exerce apreciável influência nas propriedades físicas do solo, contribuindo para maior agregação, reduzindo a densidade do solo (quanto maior o teor de matéria orgânica encontrada no solo, menor é a densidade do solo, havendo portanto, uma correlação negativa), contudo melhora a condutividade hidráulica, além de, indiretamente, aumentar a capacidade do solo em armazenar água e proporcionar-lhe ótima aeração e drenagem interna (KIEHL, 1985, p.29).

Melo et al. (2004, p.71) aplicando doses de lodo em Latossolo Vermelho distrófico, textura média (LVd) e Latossolo Vermelho eutroférico argiloso (Lvef), e concluíram que a densidade do solo foi menor na dosagem de 50 Mg ha^{-1} no LVd de textura média, apenas na camada de 0,0-0,1 m, onde também houve maior concentração de matéria orgânica.

Substâncias orgânicas pobres em nitrogênio, ou com alta relação C/N, podem provocar uma temporária deficiência de N nas plantas e conseqüentemente reduzir a safra, uma vez que os microrganismos necessitam de certa quantidade de nitrogênio para que haja o processamento e a decomposição da matéria orgânica, portanto se esta relação não estiver na devida quantidade, esses microrganismos obtém o N do solo provocando a sua escassez (Malavolta et al., 2000, p.30). Como cita Fernandes (2000, p.58), os microrganismos necessitam de carbono como fonte de energia, e de nitrogênio para a síntese de proteínas. Portanto, a relação C/N é considerada o fator que melhor caracteriza o equilíbrio dos lodos, e considera ainda que o valor ótimo aceitável dessa relação deve estar em torno de 30. Quanto ao teor relativo de nitrogênio disponível, uma maneira prática de se estimar a quantidade do



nutriente dos vários materiais orgânicos, e que pode ser liberado pelas bactérias, para uso das plantas, é suposto que, do total de N no composto, 1,5 % corresponde à quantidade de N necessário ao trabalho de decomposição das bactérias, subtraindo-se, pois, este valor do teor total de nitrogênio do material, tem-se a quantidade líquida de N que será posta em disponibilidade para as culturas.

A incorporação do lodo de esgoto calado, segundo Berton et al. (1989, p.187 e p.192), proporciona aumento do pH em muitos solos, reduzindo, ou eliminando os teores de alumínio trocável, daqueles onde esse elemento se encontra presente.

Melo et al. (1994, p.451) atestaram o aumento na CTC em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, textura média, cultivado com cana-de-açúcar e submetido à doses crescentes de lodo de esgoto.

2.5- Importância da cultura do sorgo

O sorgo é uma planta anual pertencente à família Gramineae, de ciclo de verão, porte ereto, com um período de desenvolvimento de 100 a 120 dias, apresentando maior resistência à falta de água que o milho (SAWAZAKI, 1998, p. 46).

Utilizado na alimentação tanto humana quanto animal, no plano mundial esta cultura ocupa lugar de destaque entre os cereais, sendo o quinto mais cultivado no mundo; no Brasil e pode-se admitir que a expansão da cultura do sorgo permitirá também consolidar sua posição como exportador regular de milho, assegurando o abastecimento interno de produtos energéticos para a fabricação de rações animais. Dentro desse contexto, os Estados Unidos, líderes no ranking dos exportadores mundiais de milho, estão estimulando a produção de biocombustíveis e

por isso demandarão volumes crescentes de cereais para este destino (SILVA, 2004, p.464).

O rendimento nacional médio do sorgo é de 2.255 kg ha^{-1} , segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2004). A produção vem aumentando a cada ano e, embora também crescente, a produtividade ainda é baixa se comparada ao grande potencial da cultura. Na cultura do sorgo o lodo já vem sendo utilizado de forma experimental, alcançando produções superiores as plantações fertilizadas com adubos minerais. A aplicação de lodo de esgoto em doses superiores a 20 Mg ha^{-1} pode proporcionar melhores resultados no desenvolvimento do sorgo granífero (OLIVEIRA, 1995, p. 367).



3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado no Sítio Vitória, propriedade particular, no município de Birigui, Estado de São Paulo, localizado nas coordenadas geográficas: 21° 16' 53" de latitude Sul e 50° 10' 35" de longitude Oeste e altitude média de 400 m . O clima (AW), pelo sistema Köppen, segundo Camargo et al. (1974, p.55), é classificado como tropical, com inverno seco, temperatura média de 22°C . A precipitação média anual está em torno de 1.200 mm (SÃO PAULO, 1972).

O solo da área experimental é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, com horizonte A moderado, textura média, relevo local plano a suave ondulado (Oliveira et al., 1999).

Desde 1993, o solo vem sendo cultivado com leguminosas e cereais, utilizando-se a semeadura convencional. As adubações e a correção do solo têm sido realizadas de acordo com as suas análises químicas, seguindo as recomendações para o Estado de São Paulo.

A partir do ano 2000 adotou-se a semeadura direta, sendo o histórico dos últimos 3 anos, o seguinte:

- março de 2000 - semeadura do sorgo (produtividade 3.180 Mg ha⁻¹);
- novembro de 2000 - semeadura da soja (produtividade 3.240 Mg ha⁻¹);
- abril de 2001 - semeadura de milho para produção de palha (cobertura morta);
- dezembro de 2001- semeadura da soja (produtividade 3.060 Mg ha⁻¹);
- maio de 2002 - semeadura do feijão (produtividade 1.800 Mg ha⁻¹);



- novembro de 2002 - semeadura da soja (produtividade 3.600 Mg ha^{-1}).

A precipitação pluvial no período de estudo está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Precipitação pluvial registrada no período de abril a agosto de 2003. Município de Birigui - SP.

Mês	Precipitação pluvial (mm)
Abril	101,7
Maio	28,5
Junho	38,2
Julho	11,4
Agosto	23,6

Fonte: Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

3.2 - Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com esquema fatorial, com 6 tratamentos e 4 repetições, totalizando 24 parcelas. Na Figura 1 tem-se uma vista geral da área experimental. Na testemunha não foi aplicado o lodo de esgoto e nem realizada a adubação mineral. Cada parcela teve a dimensão de $40 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ (1.200 m^2), totalizando 28.800 m^2 de área experimental.

Os tratamentos estudados foram:

T1 – Testemunha (sem aplicação de lodo de esgoto e adubação mineral);

T2 – Tratamento com adubação mineral;

T3 – 5 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto a base seca;

T4 – 10 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto a base seca;

T5 – 20 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto a base seca;

T6 – 40 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto a base seca.





Figura 1. Vista geral da área experimental

3.3 - Implantação do experimento

O lodo de esgoto foi disposto na superfície do solo um mês antes da semeadura (Figura 2) e distribuído manualmente (Figura 3). Seguidamente foi incorporado da seguinte forma: uma gradagem leve (grade niveladora) visando uma primeira incorporação superficial do material orgânico. Logo após, foi realizada uma aração profunda (0,35 m) por meio de um arado de aiveca. O lodo utilizado continha 85 % de água, apresentando-se na forma pastosa, sendo depositado e incorporado em dia de sol. A área experimental foi cercada, evitando-se a entrada de pessoas e animais.



Figura 2. Disposição do lodo de esgoto na superfície do solo.

O lodo foi analisado antes de sua aplicação, visando a adequada apreciação do comportamento das características agronômicas. A maneira relatada de aplicação foi em conformidade com que se é recomendado tanto pelo CONAMA, quanto pela SABESP, evitando-se uma deposição superficial do lodo, o que provocaria a formação de uma crosta com seu ressecamento, levando a uma condição de impermeabilização da superfície do solo. Por outro lado, o lodo incorporado na camada arável, e bem misturado ao solo permitiu uma liberação uniforme da umidade nele contida, mantendo seu estado gel e sua capacidade de reabsorver água, conforme observado por BETTIOL (1982, p.229).



Figura 3. Distribuição manual do lodo de esgoto na superfície do solo.

A semeadura do sorgo foi realizada em 11/05/2003 utilizando a variedade DKB 860, espaçamento entre linhas de 0,45 m e 14 sementes m^{-1} (9 a 10 plantas produtivas), ou 200 a 222 mil plantas por hectare. Nas parcelas que receberam adubação mineral foram aplicados 150 kg ha^{-1} da fórmula 08-20-20 + 7 % de Ca e 5 % de S, em elementos foram aplicados 12 kg de N; 30 kg de $P_2O_5\text{ ha}^{-1}$; 30 kg de $K_2O\text{ ha}^{-1}$; 10,5 kg de Ca ha^{-1} ; 7,5 kg de S ha^{-1} . Em cobertura aplicaram-se 40 kg de N ha^{-1} (sulfato de amônio) nas parcelas que receberam adubação mineral. A adubação foi de acordo com a análise do solo, seguindo orientações de Raij et al (1997, p.66). Antes da implantação do experimento o solo apresentou as seguintes características químicas: MO = 11 ($g\text{ dm}^{-3}$); pH ($CaCl_2$) = 4,5; P = 15 ($mg\text{ dm}^{-3}$) (resina); K = 1,1 ($mmol_c\text{ dm}^{-3}$); Ca = 9 ($mmol_c\text{ dm}^{-3}$); Mg = 5 ($mmol_c\text{ dm}^{-3}$); Al = 0 ($mmol_c\text{ dm}^{-3}$); H + Al = 21($mmol_c\text{ dm}^{-3}$); CTC = 36,1($mmol_c\text{ dm}^{-3}$) e V % = 42.

A calagem do solo foi realizada em 2002, na semeadura da soja, utilizando-se 1300 kg ha⁻¹ de calcário calcítico (PRNT 91 %).

3.4 - Caracterização do lodo de esgoto

3.4.1 – Origem do lodo de esgoto

O lodo de esgoto utilizado foi obtido na SANEAR, Saneamento de Araçatuba, localizada no município de mesmo nome. Originado de efluente predominantemente doméstico, com umidade de 84 %. O teor de metais pesados é baixo e para alguns elementos é nulo como podemos certificar nas análises laboratoriais; para os elementos ferro total e manganês o teor apresentado, esta acima do recomendado pela NBR 10.004, embora não sejam classificados como metais pesados para esse objetivo, são também nutrientes essenciais para a maioria das plantas.

Na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Araçatuba (Figura 4) utiliza-se o tratamento em lagoa com aeração prolongada, por meio da oxigenação por equipamento eletromecânico. Após a aeração, o efluente é desaguado por centrífuga do tipo Decanter, reduzindo sua umidade de 14 a 20 % (dos 85,4 % iniciais), apresentando-se na forma pastosa. O período de residência do lodo na lagoa é de 2 dias. Desta forma, apresenta-se com uma carga elevada de agentes patogênicos, havendo necessidade, assim, de um maior cuidado no seu manuseio, antes e após sua incorporação ao solo.



3.4.2 - Análise química do lodo de esgoto

Conforme se pode observar na Tabela 3, o lodo oriundo da Estação de Tratamento de Araçatuba, pôde ser utilizado na pesquisa agrícola, uma vez que apresentou teores relevantes de alguns nutrientes, quantidade satisfatória de matéria orgânica e principalmente, baixa carga de patógenos e de metais pesados:



Figura 4. Vista da Estação de tratamento de Esgoto de Araçatuba.

Tabela 3 – Resultados das análises químicas do lodo de esgoto utilizado.

pH	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Um
	g dm ⁻³	mmol _e dm ⁻³				mg dm ⁻³							%
5,01	200	71,3	18,8	15,1	11,1	3,4	7,8	16,4	160,4	960,6	115,7	583,5	85,4

Nota-se nas proporções de macronutrientes, para o lodo de Araçatuba, o destaque para a presença de alto teor dos nutrientes N, P e K, sendo o N e P, os macronutrientes que apresentaram maior destaque em relação a quantidade.

Quanto aos micronutrientes, o lodo de esgoto originado na ETE de Araçatuba apresenta Fe, Mn, B, Cu e Zn, em altas concentrações destes nutrientes, que são essenciais para a produção de cereais. Considerando que a mineralização destes nutrientes são gradativas, podendo ocorrer ao longo do ano e, considerando o elevado teor de matéria orgânica desse material, a análise vem reforçar a tese de ser este um material alternativo para determinadas áreas agrícolas. Quanto a umidade, observa-se, uma relação entre 85 % de umidade e 15 % de resíduo sólido a base seca, tendo em vista o tipo de tratamento utilizado, onde a água servida passa por aeração prolongada por 2 dias, logo após o resíduo é desaguado por centrífuga com capacidade de eliminação de no máximo 20 % da umidade do mesmo. A umidade é fator importante no transporte do produto, onerando-o mais à medida que se eleva o seu teor.

3.4.3 - Análise microbiológica do lodo de esgoto

Conforme dados fornecidos pela empresa SANEAR (Saneamento de Araçatuba), responsável pela Estação de Tratamento de esgoto (ETE) de Araçatuba, o lodo utilizado apresenta números mais prováveis (NMP) dos seguintes dados microbiológicos:

- Coliformes totais: $2,3 \cdot 10^8$ NMP g^{-1} de lodo;
- Coliformes fecais: $1,4 \cdot 10^2$ NMP g^{-1} de lodo;
- Pesquisa positiva para Salmonellas sp: 3,2 NMP g^{-1} de lodo.

Responsável pela análise: LABORTECHNIC tecnologia – São Paulo, SP.



3.4.3.1- Análise parasitológica

Os resultado da análise parasitológica , realizadas pela Universidade Federal do Paraná, são parâmetros para a classificação do lodo de esgoto, para seu uso agrícola; o lodo da Estação de Tratamento de Esgoto de Araçatuba tem ascaracterísticas do lodo classe B (CETESB, 1999, p.5). Os resultados desses parâmetros parasitológicos estão em Anexo 1 (Tabela 13).

3.4.4 - Análises químicas para fins de toxicidade do lodo de esgoto

Os resultados a seguir foram fornecidos pela ETE que consistem dos elementos químicos considerados metais pesados.

Também por estas características o lodo de esgoto da Estação de tratamento de Araçatuba é classificado como Lodo de Esgoto Classe B (CETESB, 1999, p.5).

Os resultados das análises químicas do lodo para fins de toxicidade, encontram-se em Anexo 2 (Tabela 14) , Anexo 3 (Tabela 15) e Anexo 4 (Tabela 16).

3.5 - Análises do solo

A análise do solo foi realizada em setembro de 2003. Foram coletadas amostras nas profundidades: 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e de 0,20-0,40 m, com trado tipo holandês . Realizaram-se 4 repetições por tratamento.

3.5.1- Análise física do solo

3.5.1.1- Granulometria do solo



A caracterização granulométrica do solo com respeito à argila, silte e areia é respectivamente: 189, 85, 726 g kg⁻¹ (na profundidade de 0,0 a 0,10 m); 199, 98, 703 g kg⁻¹ (na profundidade de 0,10 a 0,20 m) e 206, 105, 689 g kg⁻¹ (na profundidade de 0,20 a 0,40 m).

3.5.1.2- Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo

Para determinação da porosidade do solo foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos com capacidade de 10⁻⁶ m³. O método empregado para a avaliação foi o da Mesa de Tensão, segundo a EMBRAPA (1997, p.19).

3.5.1.3 - Densidade do solo

Utilizando-se as mesmas amostras, usadas para a determinação da porosidade do solo, determinou-se também a densidade do solo. A mesma foi avaliada pelo Método do Anel Volumétrico (EMBRAPA, 1997, p.19).

3.5.1.4 - Resistência à penetração e umidade do solo

A resistência à penetração foi realizada utilizando-se um penetrógrafo tipo Penetrographer PAT^{SC-60}, nas camadas de solo de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Nas mesmas profundidades avaliou-se a umidade do solo.

3.5.1.5 – Estabilidade de agregados em água

As amostras de solo foram coletadas três meses após a aplicação do lodo de esgoto, no mês de julho de 2003, durante o desenvolvimento da cultura do sorgo. Para análise da estabilidade de agregados em água utilizou-se o método de Angers



& Mehuys (1993, p.655) e, os resultados foram representados pelas classes de agregados e pelo diâmetro médio ponderado (DMP). Coletaram-se amostras indeformadas nas seguintes profundidades: 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

3.5.2 - Análise química do solo

Foram realizadas as análises químicas do solo, nas mesmas profundidades do estudo das propriedades físicas do solo, segundo metodologia descrita em Raij & Quaggio (1983, p.77). Determinou-se: fósforo, potássio, cálcio e magnésio pelo método de extração com resina trocadora de íons. A matéria orgânica foi determinada segundo o método colorimétrico. O hidrogênio mais alumínio, pela solução tampão SMP e o pH, foi determinado em solução de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01M.

3.6 –Análise de rendimento

Foi verificado o peso da matéria seca total , além do peso dos grãos(retirado de 40 plantas por parcela) na colheita.

3.7 - Análise estatística

Os resultados foram analisados efetuando-se a análise da variância e o teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para comparação de médias. Também foi analisado o efeito das doses de lodo, por regressão polinomial, excluindo-se nesse caso, a adubação mineral. Utilizou-se o programa SAS (1990) para análise dos dados.



4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Propriedades físicas do solo

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

A análise de variância para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo revelou que entre os tratamentos apenas houve diferença significativa, no nível de 5 % de probabilidade, para porosidade total do solo. A adição de matéria orgânica melhora a porosidade do solo e segundo Kiehl (1985, p.28) como a mesma tem baixa relação entre massa/volume, causa a diminuição da densidade do solo, pelo seu efeito na estruturação, tornando-o, portanto, mais poroso e menos denso. Por outro lado, deve-se considerar o fato de se estar no primeiro ano de uso do lodo de esgoto.

Na Tabela 4 podem-se observar os valores médios da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Verificou-se que os valores de macroporosidade estão no limite e acima do valor considerado como crítico para o bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Kiehl (1979, p.109) menciona que o solo ideal tem que apresentar 1/3 de macroporosidade, dos 50 % ocupados pelos espaços vazios do solo, isto é $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Já Baver et al. (1972, p.197) e Greenland (1981, p.310) relataram que o valor mínimo de macroporosidade para que não seja prejudicada a aeração e desenvolvimento do sistema radicular é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Quando analisados os valores de macroporosidade para as profundidades de estudo (Tabela 5), notou-se que na camada de 0,20-0,40 m o valor



está abaixo do considerado crítico, indicando a presença de camada compactada do solo. Por outro lado, na camada superficial (0,00-0,10 m), apresentou maior macroporosidade, tanto pelo efeito do preparo como pela adição do lodo de esgoto.

Os valores de microporosidade (Tabela 5), nas profundidades de 0,00-0,10 m e de 0,10-0,20 m estão coerentes quanto a relação estabelecida entre microporosidade/macroporosidade, que é de 2:1 (Kiehl, 1979, p.109; Baver et al., 1972, p.197). Porém, na profundidade de 0,20-0,40 m a relação está numa proporção de 4,4:1, reforçando a hipótese da presença da camada compactada.

Tabela 4. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo para os tratamentos estudados.

Tratamento	Macroporosidade	Microporosidade $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$	Porosidade Total	Dens. do solo kg dm^{-3}
Testemunha	0,10	0,33	0,43 ab	1,41
Ad. mineral	0,13	0,32	0,45 ab	1,35
5 Mg ha^{-1}	0,10	0,32	0,42 b	1,44
10 Mg ha^{-1}	0,13	0,34	0,48 a	1,31
20 Mg ha^{-1}	0,12	0,32	0,44 ab	1,38
40 Mg ha^{-1}	0,13	0,32	0,46 ab	1,37
DMS -Tukey a 5%	0,0576	0,0366	0,0470	0,1366
CV - %	39,64	9,25	8,68	8,21

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5 % de probabilidade.

A porosidade total no tratamento que recebeu 5 Mg ha^{-1} foi menor comparada ao tratamento que recebeu 10 Mg ha^{-1} e este não diferiu dos demais. Quanto às diferenças nas profundidades, o comportamento foi semelhante ao ocorrido com a macroporosidade e microporosidade, corroborando com a hipótese da presença de camada compactada na camada de 0,20-0,40 m.

Tabela 5. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo para os tratamentos e profundidades estudadas.

Tratamento	Macroporosidade	Microposidade	P. total	Dens. do solo
	(m ³ m ⁻³)			Kg dm ⁻³
profundidade de 0,00 -0,10 m				
Testemunha	0,13	0,34	0,47	1,29
Ad. mineral	0,18	0,31	0,48	1,21
05 Mg ha ⁻¹	0,15	0,32	0,46	1,28
10 Mg ha ⁻¹	0,16	0,36	0,52	1,17
20 Mg ha ⁻¹	0,17	0,32	0,50	1,20
40 Mg ha ⁻¹	0,20	0,30	0,50	1,21
DMS -5 %	0,117	0,071	0,073	0,258
CV - %	30,87	9,53	6,52	9,14
profundidade de 0,10 - 0,20 m				
Testemunha	0,11	0,34	0,45	1,37
Ad. mineral	0,12	0,34	0,45	1,36
05 Mg ha ⁻¹	0,08	0,34	0,43	1,46
10 Mg ha ⁻¹	0,15	0,37	0,52	1,20
20 Mg ha ⁻¹	0,13	0,36	0,48	1,35
40 Mg ha ⁻¹	0,14	0,35	0,48	1,35
DMS -5 %	0,138	0,063	0,117	0,334
CV - %	49,67	7,95	10,88	10,75
profundidade de 0,20 - 0,40 m				
Testemunha	0,07	0,30	0,38	1,57
Ad. mineral	0,11	0,31	0,42	1,48
05 Mg ha ⁻¹	0,06	0,31	0,37	1,59
10 Mg ha ⁻¹	0,07	0,31	0,38	1,55
20 Mg ha ⁻¹	0,06	0,29	0,36	1,57
40 Mg ha ⁻¹	0,06	0,33	0,40	1,55
DMS -5 %	0,05	0,051	0,072	0,131
CV - %	32,41	7,27	8,09	3,69

Na Tabela 5 observou-se elevação da densidade do solo, com o aumento da profundidade, demonstrando o comportamento natural do solo, menor teor de matéria orgânica e pressão da massa das camadas sobrejacentes do solo, as

camadas mais profundas possuem maior densidade. Pode-se verificar, na Tabela 5, que os valores encontrados para a densidade do solo, na camada de 0,00-0,10 e de 0,10-0,20 m estão de acordo com as condições naturais para o horizonte A do solo estudado que é de $1,25 - 1,40 \text{ kg dm}^{-3}$. Porém, de 0,20-0,40 m está acima, reforçando a hipótese da presença de camada compactada. Ainda não foi possível detectar, pelos métodos de avaliação utilizados, os efeitos da matéria orgânica sobre a densidade do solo e distribuição de poros. A influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico. À medida que se adiciona material orgânico ao solo, a atividade microbiana é intensificada, resultando em produtos que desempenham função na formação e estabilização (agentes cimentantes) dos agregados. O contínuo fornecimento de material orgânico serve como fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização dos agregados, possibilitando a formação de ácidos húmicos e de complexos argilo-orgânicos. Essas substâncias diminuem a dispersão da argila e possibilitam a formação de microagregados de maior estabilidade (CASTRO, 1998, p.10). Os resultados verificados para a porosidade e densidade do solo, com uma aplicação de lodo de esgoto, demonstram melhoria das condições físicas do solo.

4.1.2 - Resistência à penetração e a umidade do solo

Quanto a resistência à penetração e umidade do solo (Tabela 6), não houve diferença entre os tratamentos. Os valores encontrados podem ser classificados, segundo Tormena & Roloff (1996, p.337), como impeditivos para o desenvolvimento de raízes no solo, pois estão acima de 2,0 MPa. Para Canarache (1990, p.55) pressões acima de 5 Mpa, é que dificulta o desenvolvimento das raízes. De acordo com Camargo & Alleoni (1997, p.2) a compactação do solo está intimamente



relacionada a propriedades físicas, químicas e biológicas que, reconhecidamente, são importantes ao desenvolvimento das plantas e cujos efeitos sem determinada sincronia podem agravar significativamente o problema. A compactação do solo, segundo estes mesmos autores, determina, de certa maneira, as relações entre ar, água e temperatura, e estas influenciam a germinação, a brotação e a emergência das plantas, o crescimento radicular e, praticamente todas as fases de seu desenvolvimento.

Tabela 6. Valores médios de resistência à penetração para os tratamentos estudados.

Tratamento	Resistência - MPa	Umidade do solo - $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
Testemunha	5,64 a	0,05 a
Ad. Mineral	5,70 a	0,05 a
05 Mg ha^{-1}	5,63 a	0,05 a
10 Mg ha^{-1}	5,57 a	0,05 a
20 Mg ha^{-1}	6,02 a	0,05 a
40 Mg ha^{-1}	6,01 a	0,05 a
DMS -Tukey a 5 %	1,38	0,0079
CV(%)-	19,77	12,34

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5 % de probabilidade.

Verificou-se que a menor resistência à penetração foi encontrada na camada superficial (0,00 a 0,10 m), Tabela 7, este fato está associado à mobilização do solo pelo preparo, associada a maior porosidade total.

Por outro lado, há que se considerar os valores de umidade do solo verificados no momento da avaliação do teste de resistência à penetração efetuado no campo, que eram relativamente baixos. O grau de umidade intervém modificando a coesão entre as partículas do solo, que é maior no solo seco e decresce à medida que a quantidade de água aumenta, provocando a separação das suas partículas (KLEIN et al., 1998, p.53).

Tabela 7. Valores médios de resistência à penetração para os tratamentos e profundidades estudados.

Tratamento	Resistência à penetração MPa			Umidade %		
	Profundidade(m)					
	0,0-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,0-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45
Testemunha	3,412	6,135	7,382	0,038	0,055	0,061
Ad.mineral	4,890	5,892	6,327	0,042	0,055	0,061
05 Mg ha ⁻¹	3,667	6,530	6,692	0,041	0,051	0,062
10 Mg ha ⁻¹	4,225	6,115	6,380	0,043	0,056	0,066
20 Mg ha ⁻¹	5,632	5,450	6,982	0,049	0,052	0,064
40 Mg ha ⁻¹	4,387	6,550	7,102	0,043	0,053	0,061
D..M.S.5%-	2,575	2,468	2,150	0,019	0,012	0,012
C.V.(%)-	25.629	17.562	13.726	20.143	10.394	8.459

Solos de textura franco arenosa apresentam conteúdo de água na capacidade de campo entre 0,08 a 0,13 m³ m⁻³. No momento do teste de resistência à penetração o solo estudado encontrava-se com conteúdo de água igual a 0,05 m³ m⁻³, portanto com a umidade entre 38 a 63 % da capacidade de campo. Pode-se observar no entanto, que na camada de 0,20-0,40 m, o conteúdo de água foi maior do que na superfície e, a resistência à penetração também foi maior, reafirmando a hipótese da presença de camada compactada.

4.1.3- Estabilidade de Agregados em água

Houve diferença significativa entre os tratamentos quando analisado o DMP (Tabelas 8 e 9). A testemunha (tratamento sem aplicação do lodo de esgoto) e o tratamento que foi utilizado 5 Mg ha⁻¹, diferiram do tratamento que foi aplicado 40 Mg ha⁻¹, sendo que com a dose maior de lodo a estabilidade de agregados foi maior. Entre a testemunha e as doses de 5; 10 e 20 Mg ha⁻¹ não houve diferença entre o DMP, bem como entre as doses de 10; 20 e 40 Mg ha⁻¹. Apesar deste resultado estatístico verificou-se uma regressão linear (Figura 5), com um coeficiente de

determinação igual a 0,8567. Isto é, houve aumento da estabilidade de agregados, representada pelo DMP, quando se aumentou a dose de lodo de esgoto.

Tabela 8. Valores médios de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP, tratado com lodo de esgoto.

Tratamento	DMP (mm)
Testemunha	1,045b
05 Mg ha ⁻¹	1,023b
10 Mg ha ⁻¹	1,472ab
20 Mg ha ⁻¹	1,438ab
40 Mg ha ⁻¹	1,663a

Medias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5 % de probabilidade.

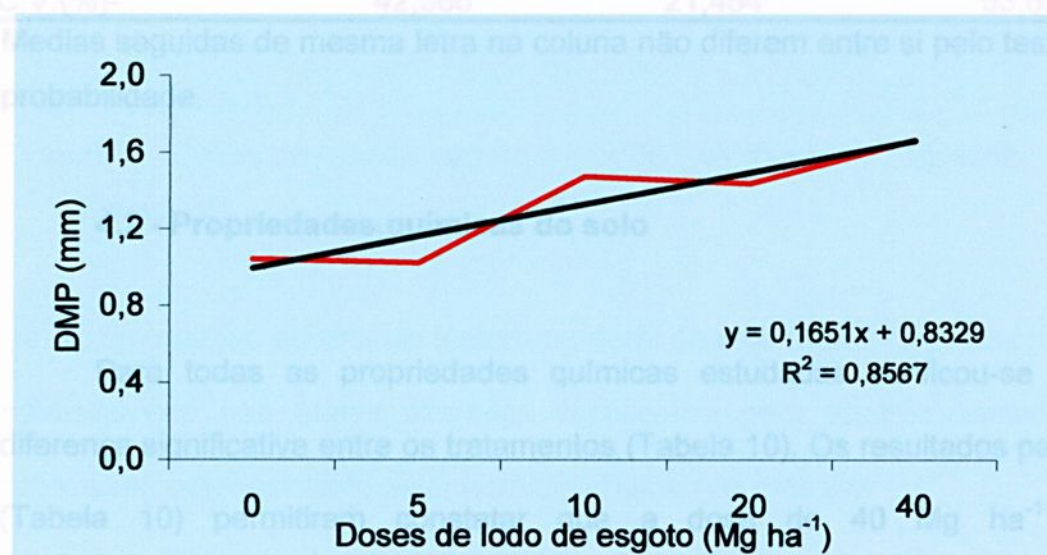


Figura 5. Relação entre doses de lodo de esgoto e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.

O lodo de esgoto proporcionou maior estabilidade de agregados estáveis em água nas camadas superficiais do solo estudado; o aumento da dose de lodo de esgoto aumentou linearmente a estabilidade de agregados do solo, porém, com a

dosagem de 40 Mg ha⁻¹ foi que a estabilidade de agregados diferenciou do solo sem uso de lodo de esgoto.

Tabela 9. Valores médios de diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP, tratado com lodo de esgoto, nas profundidades estudadas.

Tratamento	Diâmetro Médio Ponderado (mm)		
	Profundidade (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Testemunha	1,101	1,182 b	0,856
05 Mg ha ⁻¹	1,049	1,533 ab	0,489
10 Mg ha ⁻¹	1,357	1,987 a	1,071
20 Mg ha ⁻¹	1,735	1,521 ab	1,038
40 Mg ha ⁻¹	1,943	2,033 a	1,015
D..M.S.5%-	1,379	0,799	1,081
C.V.(%)-	42,566	21,454	53,65

Medias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de 5% de probabilidade.

4.2 - Propriedades químicas do solo

Para todas as propriedades químicas estudadas verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 10). Os resultados para o fósforo (Tabela 10) permitiram constatar que a dose de 40 Mg ha⁻¹ aumentou significativamente o seu teor no solo, não diferindo somente da dose de 20 Mg ha⁻¹. Os demais tratamentos não se diferenciaram entre si. O uso do lodo de esgoto incrementou a quantidade desse nutriente no solo, como constatado por BERTON et al. (1989, p.190) e OLIVEIRA et al. (1995, p.365).



Na análise de regressão houve uma relação polinomial do segundo grau entre o teor de fósforo e os tratamentos, como pode-se observar na Figura 6, indicando maior teor de fósforo, à medida que se aumenta a dose de lodo de esgoto ao solo.

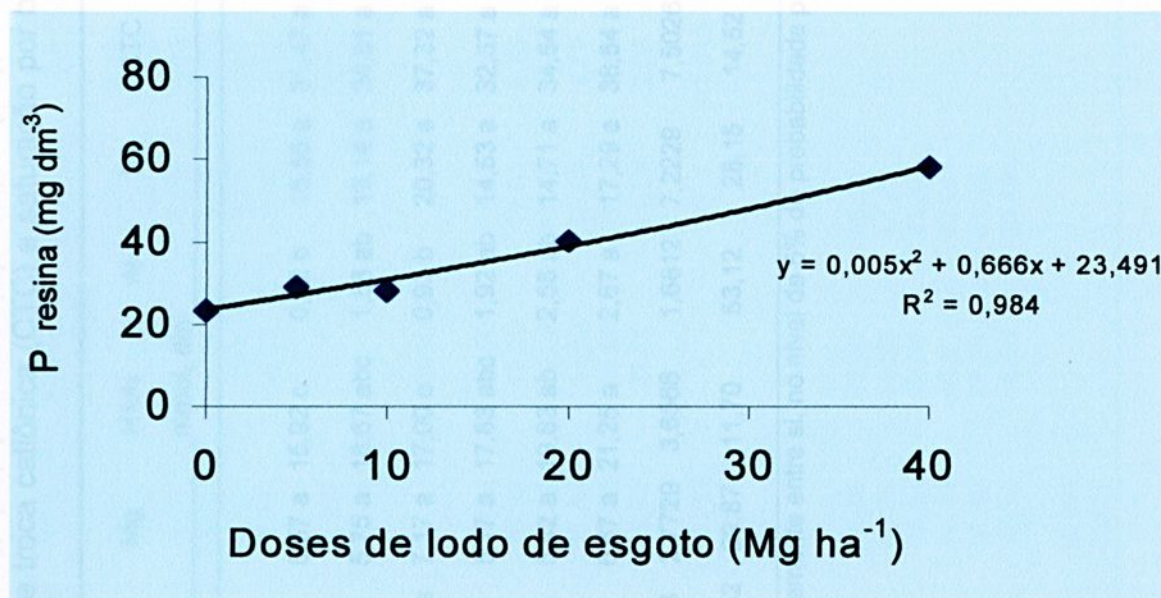


Figura 6 - Doses de lodo de esgoto e teor de fósforo em um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.

Em relação ao teor de fósforo no perfil do solo (até 0,40 m de profundidade), notou-se que não houve diferença significativa para as três camadas de solo estudadas, demonstrando estar bem distribuído nas mesmas.

Entre tratamento e profundidade não houve interação, para todas as propriedades químicas estudadas (Tabela 11).

Tabela 10. Valores médios de fósforo (P); matéria orgânica (MO), pH; potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); hidrogênio+alumínio (H+Al); soma de bases (SB); capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V) para os tratamentos estudados.

Tratamento	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻¹							%
Testemunha	23,33 b	10,33 a	5,1 a	0,94 b	9,00 a	5,67 a	15,92 c	0,92 b	15,56 a	31,47 a	48,92 a
Adubação mineral	29,67 b	11,50 a	4,9 abc	1,01 ab	9,50 a	5,75 a	18,67 abc	1,58 ab	16,14 a	34,81 a	45,67 a
Lodo 5 Mg ha ⁻¹	28,75 b	11,58 a	5,1 ab	0,90 b	12,17 a	7,17 a	17,00 c	0,92 b	20,32 a	37,32 a	53,67 a
Lodo 10 Mg ha ⁻¹	27,92 b	10,25 a	4,8 abc	0,88 b	8,33 a	5,17 a	17,83 abc	1,92 ab	14,53 a	32,37 a	44,17 a
Lodo 20 Mg ha ⁻¹	40,08 ab	10,25 a	4,6 bc	0,99 b	8,33 a	5,42 a	19,83 ab	2,58 ab	14,71 a	34,54 a	41,75 a
Lodo 40 Mg ha ⁻¹	58,00 a	11,33 a	4,5 c	1,64 a	8,92 a	6,67 a	21,25 a	2,67 a	17,29 a	38,54 a	44,08 a
DMS – Tukey a 5%	23,914	2,3238	0,4727	0,6358	4,513	2,7729	3,6566	1,6812	7,2229	7,5026	12,797
CV%	46,84	13,25	5,28	39,62	29,62	29,87	11,70	53,12	28,15	14,52	16,31

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada fator, não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 11 . Valores médios de P, M.O., pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, CTC e V%, para os tratamentos e profundidades estudados.

Tratament	profundidade (m)											
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	Fósforo, mg dm ⁻³			Matéria Orgânica, g dm ⁻³			pH, CaCl ₂			Potássio, mmol _c dm ⁻³		
Test	24,50	25,75	19,75	10,00	11,00	10,00	4,97	5,17	5,15	0,90	1,10	0,82
Ad.Químico	26,50	39,75	22,75	11,00	12,50	11,00	4,62	5,05	4,97	1,02	1,15	0,85
05 Mg ha ⁻¹	28,25	30,00	28,00	10,00	12,50	12,25	5,05	5,12	5,02	0,82	0,97	0,90
10 Mg ha ⁻¹	24,75	28,50	30,50	10,50	10,25	10,00	4,90	4,85	4,75	0,95	0,90	0,80
20 Mg ha ⁻¹	37,25	50,25	32,75	10,25	11,00	9,75	4,67	4,60	4,57	1,00	0,97	1,00
40 Mg ha ⁻¹	69,25	65,25	39,50	11,75	11,50	10,75	4,62	4,52	4,50	2,05	1,80	1,07
C.V. (%)	48,68			12,51			4,857			38,334		
DMS (5%)	20,40			1,645			0,284			0,492		
	Cálcio, mmol _c dm ⁻³			Magnésio, mmol _c dm ⁻³			H+Al, mmol _c dm ⁻³			Alumínio, mmol _c dm ⁻³		
Test	9,25	8,50	9,00	5,50	6,50	5,00	16,75	15,50	15,50	1,25	0,75	0,75
Ad.Químico	7,00	11,75	9,75	4,75	7,00	5,50	20,50	18,00	17,50	2,50	1,00	1,25
05 Mg ha ⁻¹	11,50	12,75	12,25	6,00	8,00	7,50	16,25	17,00	17,75	1,00	0,75	1,00
10 Mg ha ⁻¹	8,75	9,00	8,25	5,25	5,25	5,00	17,50	17,50	18,50	1,75	1,50	2,50
20 Mg ha ⁻¹	8,50	9,75	6,75	5,00	6,50	4,75	20,00	20,50	19,00	2,50	2,50	2,75
40 Mg ha ⁻¹	9,75	9,00	8,00	7,50	7,50	5,00	21,00	21,50	21,25	2,25	4,50	3,00
C.V. (%)	27,675			27,847			10,882			62,018		
DMS (5%)	3,139			2,012			2,424			1,396		
	SB, mmol _c dm ⁻³			CTC, mmol _c dm ⁻³			V %					
Test	15,60	16,15	14,92	32,35	31,65	30,42	48,25	49,50	49,00			
Ad.Químico	12,47	19,90	16,05	32,97	37,90	33,55	37,50	52,25	47,25			
05 Mg ha ⁻¹	18,67	21,67	20,60	34,92	38,67	38,35	52,00	56,00	53,00			
10 Mg ha ⁻¹	15,05	15,10	13,45	32,55	32,59	31,95	45,00	45,50	42,00			
20 Mg ha ⁻¹	14,55	17,22	12,35	34,55	37,72	31,35	41,50	44,75	39,00			
40 Mg ha ⁻¹	19,00	18,50	14,37	40,00	39,99	35,62	46,75	46,00	39,50			
C.V. (%)	26,275			13,611			15,097					
DMS (5%)	5,221			5,738			8,471					

Para a matéria orgânica do solo (Tabela 10) não houve diferença entre os tratamentos, discordando de OLIVEIRA et al. (1995, p.365), que mencionaram que doses maiores de lodo aumentam sensivelmente o teor de matéria orgânica do solo. Porém, concorda com dados de VAZ et al. (2002, p.172), que após seis meses de incorporação de doses de 20 e 40 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média, constatou redução dos teores de matéria orgânica, devido provavelmente, às maiores disponibilidades de frações de carbono facilmente decomponíveis. Por outro lado, o autor atribuiu o comportamento ao fato de ser uma região de temperatura alta, podendo ter influenciado a decomposição rápida da matéria orgânica. Entre as profundidades de estudo a matéria orgânica do solo foi maior na camada de 0,10 - 0,20 m (Tabela 11), embora não significativa, atribui-se o resultado, ao efeito da incorporação do lodo, bem como a influencia espacial no momento da coleta da amostra.

Pode-se afirmar, segundo os resultados (Tabela 10) que, com o aumento da quantidade de lodo aplicado, houve diminuição do pH do solo. A testemunha apresentou maior pH (5,1 - média acidez) e o tratamento 40 Mg ha⁻¹, o menor pH (4,5 - acidez alta), diferenciando-se, os dois tratamentos, no nível de 5 % de probabilidade, devido à acidez do composto adicionado, pelo fornecimento de protons H⁺, que tendem a acidificar o solo, segundo Mello et al.(1987, p.124), e também pela quantidade alta de nitrogênio aplicada, que pode ter levado a uma acidificação devido a nitrificação. A testemunha por sua vez não diferenciou dos tratamentos com as dosagens de 5 Mg ha⁻¹ e 10 Mg ha⁻¹, conforme pode-se



constatar na Tabela 10. A dose de 40 Mg ha⁻¹, também não diferenciou significativamente das doses 10 e 20 Mg ha⁻¹ e do tratamento com adubo mineral. Este resultado contrariou as conclusões de OLIVEIRA et al. (2002, p.515); SILVA et al. (2001, p.838) e BERTON et al. (1989, p.190), porém, os autores utilizaram lodo de esgoto calado. Já para VAZ et al. (2002, p. 157) e NASCIMENTO et al. (2004, p.388), que utilizaram lodo de esgoto com pH ácido (não calado), o resultado foi concordante. Portanto, a variação de pH do solo, que recebe o lodo, dependerá de fatores como: tipo de solo e pH do lodo aplicado (que decorre do tratamento a que o lodo foi submetido), e outras propriedades intrínsecas do solo. Neste trabalho, o pH do lodo utilizado apresentou valor igual a 5,0, conforme Lopes (1998), a redução do pH ocorre porque a matéria orgânica do solo está continuamente sendo decomposta pelos microorganismos em ácidos orgânicos, dióxidos de carbono (CO₂) e água, formando ácido carbônico. O ácido carbônico, por sua vez, reage com os carbonatos de cálcio e magnésio no solo para formar bicarbonatos solúveis que são lixiviados, deixando o solo mais ácido, portanto entre as camadas de solo estudadas não houve diferença para o pH do solo.

Na Figura 7 está representada a regressão polinomial entre os tratamentos que receberam o lodo de esgoto e o pH do solo, indicando o aumento da acidez da solução do solo conforme se aumentou a dose do lodo.



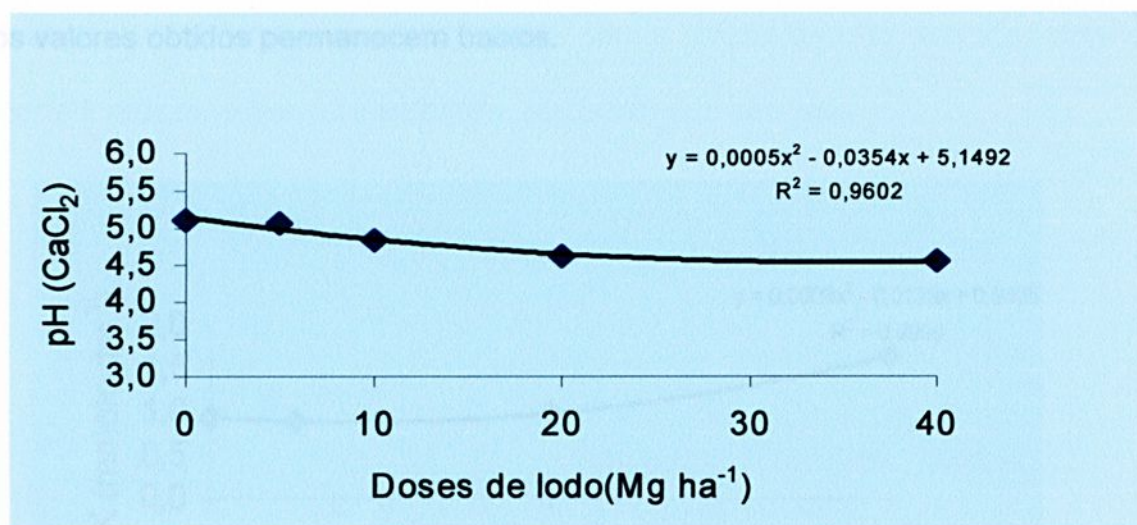


Figura 7 - Doses de lodo de esgoto e pH de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.

Pelo resultado do teste de Tukey a 5 % de probabilidade, para o potássio pôde-se afirmar que o tratamento com a maior dose de lodo (40 Mg ha⁻¹), diferenciou significativamente dos demais tratamentos, com exceção do tratamento que recebeu a adubação mineral (Tabela 10). Resultados semelhantes foram verificados por BERTON et al. (1989, p.189). A concentração desse elemento no lodo, ou no solo, é que determinará a absorção pela planta. Em um trabalho com Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, cultivado com cana-de-açúcar, SILVA et al. (2001, p.838) evidenciaram que a aplicação de lodo diminuiu a disponibilidade desse elemento que era inicialmente alto, provavelmente devido a cultura ser exigente em potássio.

Na Figura 8 verificou-se, na análise de regressão entre as doses de lodo de esgoto e o teor de potássio no solo, um coeficiente de determinação de 0,9998,

indicando que, com aumento da dose de lodo de esgoto, aumenta-se o teor de potássio trocável; Somente uma pequena parte permanece em solução, contudo os valores obtidos permanecem baixos.

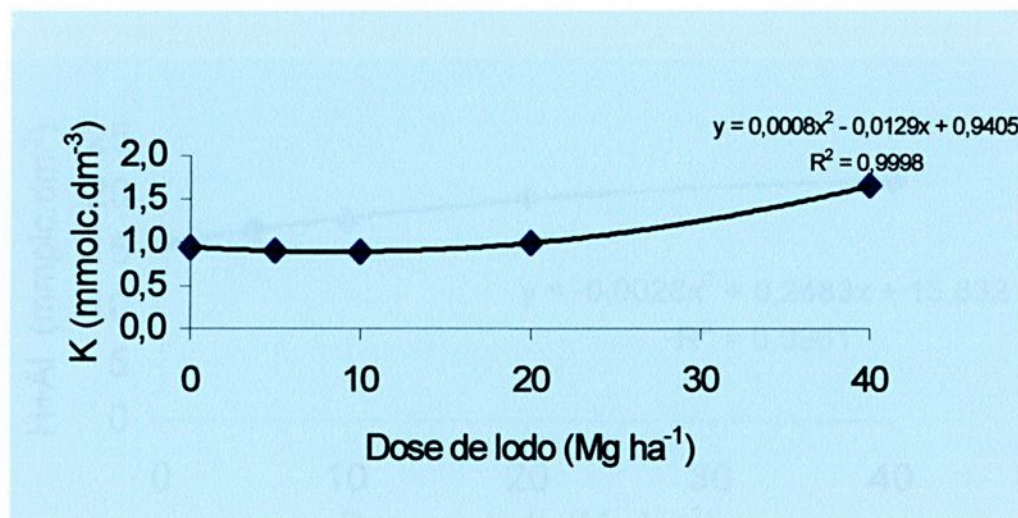


Figura 8 - Doses de lodo de esgoto e teor de potássio de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.

Tanto para cálcio, como para magnésio (Tabela 10), não houve diferença significativa entre os tratamentos. Os valores de cálcio e magnésio verificados são classificados como teores alto ($> 7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e médio ($5\text{-}8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), respectivamente segundo Raij et al. (1997, p.11), este comportamento foi verificado antes mesmo da aplicação do lodo.

Quanto a presença de alumínio + hidrogênio (acidez potencial) houve diferença significativa entre as doses aplicadas (Tabela 10). O tratamento que recebeu a dose de 40 Mg ha^{-1} superou a testemunha e a dose de 5 Mg ha^{-1} , contudo, não houve diferença em relação aos demais tratamentos que receberam

o lodo e para adubação mineral. Neste caso pode-se certificar a diminuição do pH e a elevação da acidez potencial ($H^+ Al$), concordando com dados de OLIVEIRA et al. (1995, p.366), os quais citam que, com a adição de lodo, a acidez potencial tende a reduzir, e por consequência, aumentar o pH do solo.

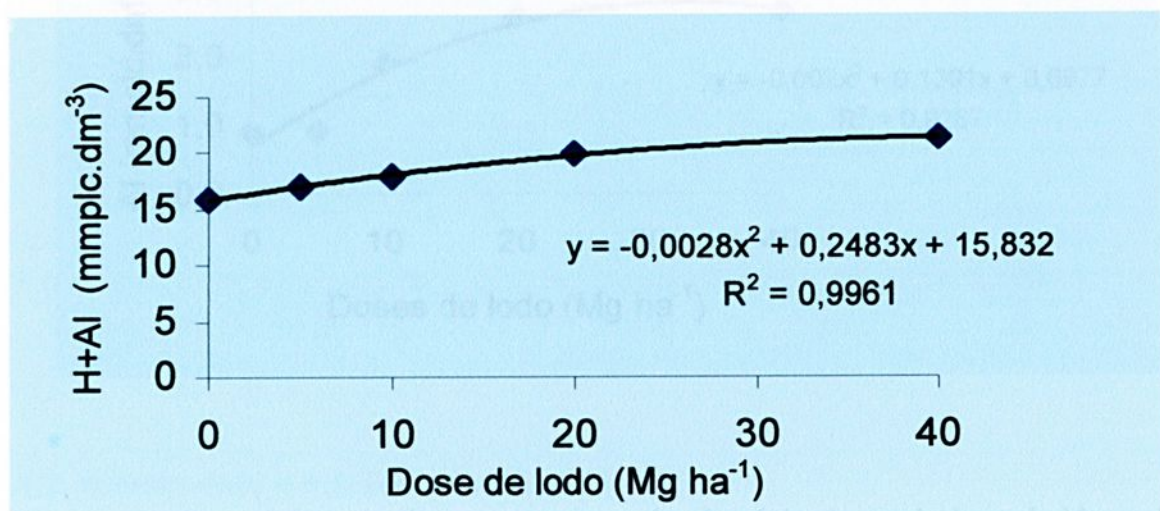


Figura 9 - Doses de lodo de esgoto e acidez potencial (H^+Al) de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.

As características do lodo de esgoto, quais procedimentos utilizados no tratamento, e como e de onde ele é obtido, é que irão definir o comportamento da acidez do solo. Na Figura 9 tem-se a regressão entre doses de lodo e a acidez potencial (H^+Al).

A presença de alumínio trocável (Tabela 10) proporcionou características semelhantes às da acidez potencial, ou seja, a maior dose de lodo (40 Mg ha⁻¹), diferenciou estatisticamente da testemunha e do tratamento com menor dose, não diferenciando da dose de adubação mineral e demais doses de lodo.

Na Figura 10 observa-se a regressão entre as doses de lodo utilizadas e o teor de alumínio no solo.

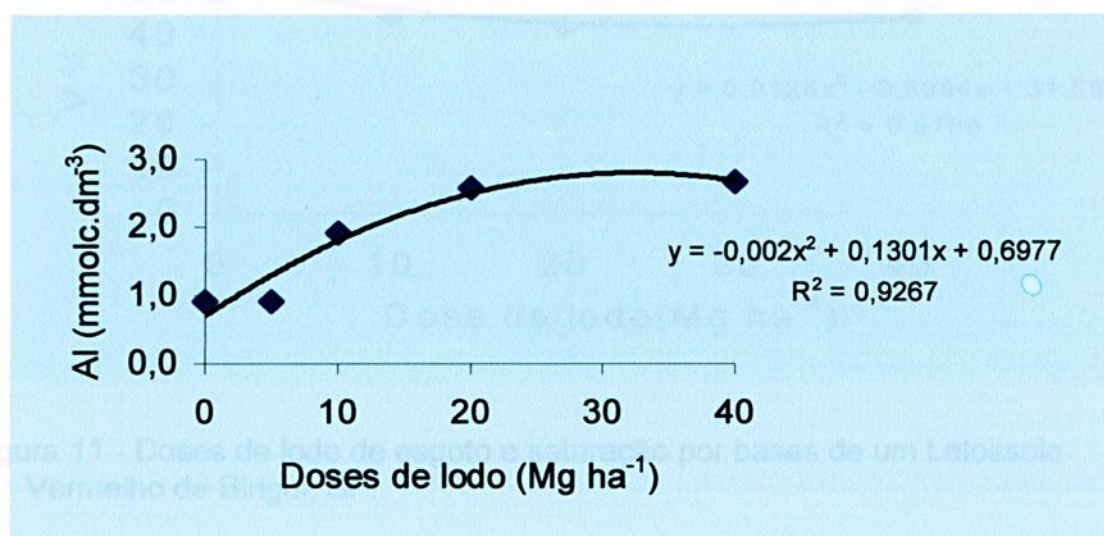


Figura 10 - Doses de lodo de esgoto e teor de alumínio de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.

Não houve diferença significativa no teor de matéria orgânica, CTC e V% do solo. No presente trabalho, o tempo de exposição do lodo provavelmente foi curto, para aferir estes resultados.

Não houve diferença entre os tratamentos quando analisada a soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases. Nota-se porém, a um decréscimo no valor da saturação por bases, conforme aumentou-se a dose do lodo de esgoto (Figura 11), podendo estar relacionado com a variação do pH e não pela adição de matéria orgânica.

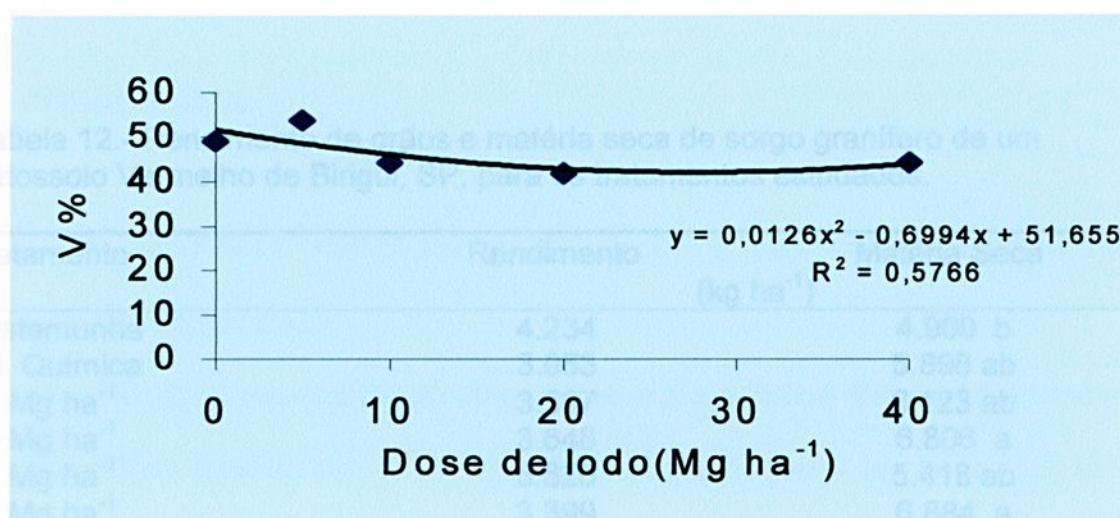


Figura 11 - Doses de lodo de esgoto e saturação por bases de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP.

4.3. Rendimento e matéria seca do sorgo

Observa-se na Tabela 12 que não houve diferença entre os tratamentos para o rendimento de grãos do sorgo. Porém, os resultados alcançados refletiram um rendimento acima da média nacional, que segundo Coelho et al.(2002, p.1), a qual varia de 1.500 a 2.500 kg ha⁻¹. Provavelmente o comportamento verificado ocorreu pelo fato dos níveis de nutrientes estarem adequados às exigências da cultura do sorgo. Ressalta-se que no caso da testemunha há efeito residual da adubação mineral efetuada para a cultura anterior (soja). Outro fato a considerar é o período de ação do lodo de esgoto, bem como o efeito acumulativo, tendo em vista que houve apenas uma aplicação.

Tabela 12.- Rendimento de grãos e matéria seca de sorgo granífero de um Latossolo Vermelho de Birigui, SP, para os tratamentos estudados.

Tratamento	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Matéria Seca
Testemunha	4.234	4.900 b
Ad. Química	3.053	5.898 ab
05 Mg ha ⁻¹	3.537	6.123 ab
10 Mg ha ⁻¹	3.648	6.806 a
20 Mg ha ⁻¹	3.626	5.418 ab
40 Mg ha ⁻¹	3.399	6.884 a
DMS – 5 %	1.767	1.746
CV	21,45	12,64

Medias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de 5% de probabilidade.

Com relação à matéria seca, houve diferença entre os tratamentos, corroborando com os resultados verificados por Oliveira et al.(1995, p. 361) e outros autores, os quais salientaram a tendência de aumento da taxa de crescimento vegetativo de algumas culturas em decorrência da utilização do lodo de esgoto. A matéria seca foi um indicativo das diferenças entre os tratamentos, demonstrando a menor eficiência do tratamento testemunha. Embora este comportamento não tenha resultado em menor rendimento. A testemunha diferiu dos tratamentos com as doses de 10 e 40 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto.



5 - CONCLUSÕES

Os resultados verificados para o solo, e nas condições estudadas, permitiram concluir que:

- 5 meses após a aplicação do lodo de esgoto, a ação do mesmo influenciou na porosidade total do solo e na estabilidade de agregados em água, que foram maiores na camada superficial do solo (0,00-0,20 m);
- os teores de P, pH, K, H+Al e Al do solo foram influenciados pelo uso do lodo de esgoto;
- os teores de matéria orgânica, Ca e Mg, e valores para SB, CTC e V do solo, para o período de estudo, não foram alterados;
- macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, e saturação por bases não foram bons indicadores das alterações das propriedades físicas e químicas do solo quando aplicou-se lodo de esgoto;
- a aplicação de lodo de esgoto não influenciou o rendimento de grãos de sorgo no primeiro ano de cultivo, sob condições desfavorável de seca, mas influenciou a matéria seca, material destinado à silagem.



6 - REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT**. NBR 9648: esgoto sanitário. Rio de Janeiro:ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT**. NBR 10004: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro :ABNT, 1986.

ANDREOLI,C.V.; PEGORINI, E. S. Gestão de biossólidos: adequações necessárias ao modelo brasileiro. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS NO MERCOSUL,1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná/Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1998. p.105-110.

ANGERS, D. A.; MEHUYS, G. R. Aggregate stability to water, In: CARTER, M. R. **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Canadian Society of Soil Science, 1993. p.651-657.

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Lixiviação de íons inorgânicos em solos repetidamente tratados com biossólidos. Seção IX –Poluição do Solo e Qualidade Ambiental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.21, p.927-938, 2000.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. 4.th ed. New York: J. Wiley, 1972. 529p.

BETTIOL, W. **Utilização de lodo de esgoto como fertilizante**. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, 1982, Piracicaba: Cena/Promocet, 1982. p. 227-232.



BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso Agrícola do lodo de esgoto**. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- Embrapa. Meio ambiente, Jaguariúna: Embrapa, 2000. 312 p.

BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALDARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.13, p.187-192, 1989.

BERTON, R.S.; RAIJ, B.V.; LOBARDI NETO, F.; SARTINI, H. J.; KUHN NETO, J.; MOURA, J. C. ; DRUGOWICH, M. I.; CORSI, M.; CASTRO, O. M. Tecnologia para aumentar a cobertura vegetal e infiltração da água no solo. **Manual Técnico de Manejo e Conservação de Solo e Água**, Campinas, v.13, p.102; 1994.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do Solo e o Desenvolvimento das Plantas**. Piracicaba: O.A. Camargo, L.R.F. Alleoni, 1997. 132p.

CAMARGO, A. P.; PINTO, H.S.; BRUNINI, O.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R. R. **Clima do Estado de São Paulo**. In: São Paulo. Secretaria da Agricultura. Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1974. v.1, 86p.

CANARACHE, A. A generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Till Resistance**, Amsterdam, v.16, p.51-70, 1990.

CASTRO, J.P.C. **Reabilitação de áreas degradadas** – aspectos legais. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. Recuperação de áreas degradadas. Viçosa: UFV, 1998. p. 9-13.

CETESB. Aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projeto e aplicação. **Manual Técnico**. P 4.230. 1999, 32p.



COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja doutor do seu sorgo. POTAFOS: **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.4, 24p. 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - **CONAB**- Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: ago. 2004.

COSTA, M.B.B. ; MILANEZ, A.I.;CHABARIBERI,D.; LOPES,E.S.; LOMBARDI NETO, F.; CERVELLINI,G.; CANTARELLA,H.; TERRA,M.M.; SILVA, N.M. da; BRAGA,N.R.; BATAGLIA,O.C.; TRANI,P.E.;FURLANI,P.R.; BELINAZZI Jr., R.; HIROCI, R.; MIYASAKA, S. **Adubação orgânica, nova síntese novo caminho para a agricultura**. São Paulo: Ícone, 1975. p.47-48. (Coleção Brasil Agrícola).

DAVID, A.C. Secagem térmica de lodos de esgoto: determinação da umidade de equilíbrio. 2002. Dissertação (**Metrado**) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em:< www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-30042003-131628/publico/Revisada.PDF>. Acesso em: ago. 2004.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Atlas pluviométrico do Estado de São Paulo** (período 1941-1970). São Paulo: Secretaria de Serviços e obras públicas. 1972. 84p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – Embrapa. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1997. 212p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY -EPA published the 40 CFR (Title 40, Code of Federal Regulations) Part 503 Biosolids Rule,1993; Disponível em: <www.biosolids.com/regs.shtml>. Acesso em: 22 abr. 2004.



FERNANDES, F. **Estabilização e higienização de biossólidos; em Impacto ambiental do uso Agrícola do lodo de esgoto.** In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – Embrapa. Meio ambiente, Jaguariúna: Embrapa, 2000. 312p.

MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURION, J. F.; MELO, W. J.; GREENLAND, D. J. Soil management and soil degradation. **Journal of Soil Science**, London, v.31, p.301-322, 1981.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. **Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

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

NASCIMENTO, C. W. A. **Uso agrícola de lodo de esgoto: uma alternativa para** KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba: Ceres, 1985. 492p.

LEVY, C. Artigo publicado no jornal **OESP- O Estado de São Paulo**- quarta feira dia 27 de outubro de 1999. Disponível em: www.estado.estadao.com.br/jornal/suplem/agri/99/10/27/agri023.html. Acesso em ago.2004.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo.** 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1998. 177p.

RODRIGUES, R. B.; ARAUJO, R. de; **Esgoto Sanitário. Coleta Transporte** MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações.** In: MALAVOLTA, E. Adubos e adubações. São Paulo: Nobel, 2000. 200p.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 496 p.



MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. ; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. C.; **Reação do solo**. Fertilidade do solo. 3. ed., São Paulo: Nobel, 1987. 400 p.

MELO, V.P. ; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F.; MELO, W.J.; **Atributos físicos de Latossolo adubados durante cinco anos com biossólido**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v.39, n.1, 2004, p.62-72.

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

NASCIMENTO, C. W. A . **Uso agrícola de lodo de esgoto**: uma alternativa para reciclagem. Disponível em: www.ufrpe.br/artigos/artigo-14.html>. Acesso em: 16 out. 2003.

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

NUVOLARI, A.; D'ALKMIN TELLES, D. ; RIBEIRO, J.T.;MIYASHITA, N. J.; RODRIGUES, R. B.; ARAUJO, R. de; **Esgoto Sanitário**. Coleta Transporte Tratamento e Reúso Agrícola. FATEC-SP/CEETEPS-FAT. Ed. Edgard Blücher , São Paulo, 2003, 520p.

OESP. **Artigo publicado em 1999: Utilização de lodo de esgoto como fertilizante**, retirado do Site do jornal O Estado de São Paulo. Disponível em: www.oesp.org.com>. Acesso em: 22 abr. 2003.



OLIVEIRA, J. B. ; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**.: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomicos, 1999. 64p.

OLIVEIRA,F.C.;MARQUES,M.O.;BELLINGIERI,P.A.;PERECIN,D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.2, p.360-367, 1995.

OLIVEIRA,F.C.;MATTIAZZO,M.E.;MARCIANO,C.R.;ROSSETTO,R. Efeitos de aplicações de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: Carbono Orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.25, p.505-519, 2002.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1997. 285 p. (**Boletim técnico**, 100).

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

ROCHA, M. T.; SHIROTA, R. **Disposição final do lodo de esgoto**. Revista de Estudos Ambientais, v.1, n.3, set/dez, 1999.

ROCHA, R.E.M. ; PIMENTEL M.S.; ZAGO, V.C.P.; RUMJANEK, N.G.; DE-POLII, H.; **Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 2, p.1435-1441, 2003.



RODRIGUES, R, B. Modelagem dos poluentes orgânicos em corpos d'água superficiais: **Esgoto sanitário, coleta transporte tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. p.209-210.

SABESP; **SABESP ensina**. Avançado: Artigo Tratamento do lodo e Sabesfértil Lodo e Sabesfértil, o alimento da terra, 2003 .Disponível em: www.sabesp.com.br/sabesp_ensina/avancado/reciclagem_lodo/default.htm Acesso em: jul. 2005.

COMPANHIA DE SANEMANETO DO PARANÁ - SANEPAR **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba: CSP, 1997. 96p.

COMPANHIA DE SANEMANETO DO PARANÁ – SENEPAR. Diagnóstico do potencial dos solos da região de Maringá para disposição final do lodo gerado pelos sistemas de tratamento de esgoto do município. **SANARE**, V.13. n.º 13 Janeiro –junho 2000.Disponível em: www.sanepar.com.br/ Acesso em jul. 2005.

SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide. Version G. 4 ed. Cary: NC; **SAS Institute Inc.**, 1990.

SÃO PAULO. (Estado). **Atlas pluviométrico do Estado de São Paulo**. Secretaria dos serviços e obras públicas. DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica. (Período 1941-1970). **Mapas**, 84p.

SAWAZAKI, E. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. In: FAHL, J.I.; CAMARGO, M. B. P. ; PIZZINATTO, M. A.; BETTI, J. A.; MELO, A. M.T. de; DEMARIA, I.C.; FURLANIA A. M. C. (**Boletim**, 200). Campinas: IAC, 1998. 397 p.



SETI- Secretaria de Ciências, Tecnologia e Ensino Superior- artigo "**Lodo é a solução para agricultura**" Arquivo de notícias. Disponível em: www.seti.gov.br/noticias/noticias_1999/14fev00.html>. Acesso em: 20 mar. 2004.

SILVA,D.F.- Novas oportunidades para a cultura do sorgo. NEHMI FILHO et L. **AGRIANUAL 2004**. São Paulo: Consultoria e Agroinformativos, 2004. p.463-468.2004.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A . E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI,H.B.; PEXE,C.A.; BERNARDES, E.M. **Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um argissolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v.36, p.831-840, 2001.

SOERENSEN, B.; BRIENZA, K. B.M. **Manual de saúde pública**. Marília: UNIMAR, 1999. 494p.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.333-339, 1996.

TSUTIYA, M.T.; **Uso agrícola de biossólido de estação de tratamento de esgoto sanitário de Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.744-751.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Crescimento inicial e fertilidade do solo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido- **Sitientibus**. Feira de Santana, n. 26, p.151-174, jan./ jun. 2002.



Anexo 1 - Tabela 13 - Resultado da análise dos parâmetros parasitológicos.

helminto		1	2	3	n.º de ovos/g MS
Ascaris	Viável	29	25	25	3,94
	Inviável	43	46	46	8,47
Toxocara	Viável	2	3	3	0,36
	Inviável	11	11	11	1,56
T. trichiura	Viável	3	3	3	0,43
	Inviável	3	4	4	0,50
T. vulpis	Viável	0	1	1	0,07
	Inviável	1	2	2	0,21
Trichuroidea	Viável	0	2	2	0,14
	Inviável	5	6	6	0,78
H. diminuta	Viável	21	24	24	3,20
	Inviável	80	80	80	11,38
H. nana	Viável	0	0	0	0,00
	Inviável	0	0	0	0,00
Taenia	Viável			1	0,14
	Inviável	1	2	1	0,21
outros	Protozoários (cistos)				0,65
Soma					8,18
cyclohelminths	Viável				
	Inviável				21,12
	Total				29,30
Porcentagem de viáveis					27,91

7- ANEXOS

Metodologia: Tomaz Sorocó V, Castro E.A., Paulino R. In: SANEPAR, Manual de métodos para análises parasitológicas em reciclagem de lodo, Curitiba, 2000, p.27-41. O Resultado representa a média das análises feitas em triplicatas. Curitiba, 28/09/2003.

Anexo 1 - Tabela 13 -Resultado da análise dos parâmetros parasitológicos.

<i>helmineto</i>		1	2	3	<i>n.º de ovos/g MS</i>
Ascaris	Viável	29	25	25	3,84
	Inviável	43	48	48	6,47
Toxocera	Viável	2	3	3	0,36
	Inviável	11	11	11	1,56
T. trichiura	Viável	3	3	3	0,43
	Inviável	3	4	4	0,50
T. vulpis	Viável	0	1	1	0,07
	Inviável	1	2	2	0,21
Trichuroidea	Viável	0	2	2	0,14
	Inviável	5	6	6	0,78
H. diminuta	Viável	21	24	24	3,20
	Inviável	80	80	80	11,38
H.nana	Viável	0	0	0	0,00
	Inviável	0	0	0	0,00
Taenia	Viável	1	1	1	0,14
	Inviável	1	2	1	0,21
outros	Protozoários (cistos)				0,85
Soma					8,18
ovoshelminetos	Viável				
	Inviável				21,12
	Total				29,30
Porcentagem de viáveis					27,91

Metodologia: 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. O Resultado representa a média das análises feitas em triplicatas.
Curitiba 28/06/2003

Anexo 2 -Tabela 14. Análise química do lodo de esgoto da ETE Araçatuba-SP, para fins de toxicidade. Ensaio de Lixiviação.

Parâmetro	Resultado	Limite Máximo
mg L ⁻¹		
Arsênico	nd	5,0
Bário	2,3	100,0
Cádmio	0,003	0,5
Chumbo	0,120	5,0
Cromo Total	0,03	5,0
Fluoretos	1,29	150,0
Mercúrio	nd	0,1
Prata	nd	5,0
Selênio	nd	1,0

DADOS DA LIXIVIAÇÃO : Tempo total de Lixiviação : 24 horas
Volume total do líquido obt.:1.603 mL. Volume de ácido acético adicionado 3,0 mL
pH inicial : 5,28 / pH final : 5,01
Descrição do material analisado: Lodo da E.T.E. Aspecto: massa escura e úmida.
-Métodos de análises baseados na 20ª edição do " Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater ".
- nd = não detectado % de sólidos no lodo desidratado: 15,6 %
- Análises efetuadas segundo a NBR 10.004 - Resíduos Sólidos.

Nitrato	4,7	10,0
Prata	0,02	0,05
Selênio	nd	0,01
Sulfato	27,9	400,0
Sódio	48,4	200,0
Surfactantes	nd	0,2
Zinco	3,84	5,0

Métodos de análises baseados na 20ª edição do "Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater"
- Análises efetuadas segundo a NBR 10.004 - Resíduos Sólidos
- (*) = Resultado acima do permitido pela Legislação - NBR 10.004 -

Anexo 3 - Tabela 15. Análise química do lodo de esgoto da ETE Araçatuba-SP, para fins de toxicidade. Ensaio de Solubilização.

Parâmetro	Resultado	Limite Máximo
	mg L ⁻¹	
Alumínio	0,1	0,2
Arsênico	nd	0,05
Bário	0,4	1,0
Cádmio	0,004	0,005
Chumbo	0,003	0,05
Cianeto	nd	0,1
Cloretos	39,0	250,0
Cobre	0,04	1,0
Cromo Total	nd	0,05
Dureza	120,0	500,0
Fenol	nd	0,001
Ferro Total	(*) 2,86	0,3
Fluoretos	0,64	1,5
Manganês	(*) 0,3	0,1
Mercúrio	nd	0,001
Nitrato	4,7	10,0
Prata	0,02	0,05
Selênio	nd	0,01
Sulfato	27,9	400,0
Sódio	48,4	200,0
Surfactantes	nd	0,2
Zinco	3,64	5,0

Métodos de análises baseados na 20ª edição do "Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater".

- Análises efetuadas segundo a NBR 10.004 - Resíduos Sólidos

-(*) = Resultado acima do permitido pela Legislação - NBR 10.004 -

Anexo 4 - Tabela 16. Análise química do lodo de esgoto da ETE Araçatuba-SP, para fins de toxicidade. Ensaio na Massa Bruta.

<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado</i>	<i>Limite Máximo</i>
Arsênico	mg kg ⁻¹	nd	1.000
Berílio	mg kg ⁻¹	nd	100
Chumbo	mg kg ⁻¹	0,97	(*)
Cianeto	mg kg ⁻¹	nd	1.000
Cromo Hexavalente	mg kg ⁻¹	2,0	100
Fenol	mg kg ⁻¹	nd	10
Óleos e Graxas	% massa	1,30	-
Mercúrio	mg kg ⁻¹	nd	100
Selênio	mg kg ⁻¹	nd	100
Vanádio	mg kg ⁻¹	nd	1.000

Métodos de análises baseados na 20ª edição do "Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater".

- Análises efetuadas segundo a NBR 10.004 - Resíduos Sólidos

- nd = não detectado

- (*) Limite para teor de chumbo: compostos orgânicos : 100 mg Pb kg⁻¹
compostos minerais : 1.000 mg Pb kg⁻¹





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

Programa de Pós-graduação em Agronomia

Av. Brasil, 56 Centro

15385-000 Ilha Solteira - SP

www.feis.unesp.br

