

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE ECOSISTEMAS

CRESCIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus L.*)
TRATADAS COM LODO DE ESGOTO

JOSÉ CARLOS ABREU DE CARVALHO

VILA VELHA
JUNHO / 2012

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE ECOSISTEMAS

**CRESCIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus L.*)
TRATADAS COM LODO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

JOSÉ CARLOS ABREU DE CARVALHO

VILA VELHA
JUNHO / 2012

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UVV-ES

C331c Carvalho, José Carlos Abreu de.

Crescimento de plantas de girassol (*Helianthus annus L.*)
tratadas com lodo de esgoto / José Carlos Abreu de Carvalho.
– 2013.

60 f. : il.

Orientador: Leonardo Barros Dobbs.

Dissertação (mestrado em Ecologia de Ecossistemas) -
Universidade Vila Velha, 2013.

Inclui bibliografias.

1. Lodo residual como fertilizante. 2. Adubos e fertilizantes.
3. Reaproveitamento (sobras, refugos, etc.). I. Dobbs,
Leonardo Barros. II. Universidade Vila Velha. III. Título.

CDD 363.7282

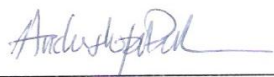
JOSÉ CARLOS ABREU DE CARVALHO

**CRESCIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus L.*)
TRATADAS COM LODO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

Aprovada em 30 de Junho de 2012,

Banca Examinadora:



Dr. Anderson Lopes Peçanha - CCA / UFES



Dr. Alessandro Coutinho Ramos - UVV



Dr. Leonardo Barros Dobbss - UVV

(Orientador)

Ao meu bom **DEUS**, pela vida, e a minha família, minha esposa **Edlaine** e meus filhos **José Lucas** e **Lara**, pela compreensão nos momentos de ausência. O resultado é
nosso.

Amo muito vocês.

AGRADECIMENTOS

São muitos e sinceros!!!

Aos meus pais, Vicente Barroso de Carvalho (*in memorian*) e Maria Abreu de Carvalho, pelo incentivo e investimentos nos estudos, naquela época tão difícil.

Aos meus irmãos Adalberto (*in memorian*), Marlene, Magali, Robson, Marluce e Flávio (*Fazin*), todos Abreu de Carvalho pela convivência, amor e respeito.

Ao meu coordenador, Dr. Alessandro Coutinho Ramos, e ao meu orientador Dr. Leonardo Barros Dobbss, por acreditarem, compreenderem, apoiarem e se dedicarem, muito agradecido por tudo.

Aos professores do mestrado, pela contribuição durante a realização do curso.

Às professoras e amigas Ângela Maria de Castro Simões e Maria Tereza Coimbra de Carvalho: incentivo e apoio, antes e durante a realização do curso.

Ao professor e amigo José Eduardo Loureiro Jorge, pelo incentivo e apoio num momento decisivo.

Ao Prof. Dr. Anderson Lopes Peçanha - CCA / UFES por aceitar participar da banca, e contribuir com seus conhecimentos na melhoria deste trabalho.

Aos amigos Rodrigo Moraes Pessoa, Wolmen Oliveira Santos, Maria Alice Costa da Silva, Fernanda Pavesi, Frederico Eutrópio, Gabriela Chaves Canton, Juliana Melo da Conceição, Juliano Barbirato, Kátia Regina, Luis Augusto Altenburg e todos os demais, pela amizade e pela colaboração na realização deste trabalho. Vocês foram muito importantes nessa caminhada.

Ao secretário do Curso de Mestrado, Édson Rodrigues Pereira Filho, e a secretária da Coordenação de Enfermagem, Francielle André de Paula Vieira, pelo apoio e atenção.

À Universidade Vila Velha: o investimento realizado, viabilizou concluir o curso.

Aos membros do Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia, e aos funcionários de todo o complexo Biopráticas – Nossa Senhora da Penha.

Deus abençoe a todos vocês, que ajudaram a tornar o trabalho possível.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 BREVE HISTÓRICO.....	16
2.2. O MEIO AMBIENTE, A CONSCIENTIZAÇÃO SOCIAL E A SUSTENTABILIDADE	18
2.2.1. Agricultura Ecológica e Sustentabilidade na Agricultura.....	20
2.3 LODO DE ESGOTO: CONSIDERAÇÕES	23
2.4 LIMITAÇÕES PARA O USO DO LODO DE ESGOTO	28
2.4.1 Metais Pesados:	30
2.4.2 Metais Pesados nos Biossólidos:	31
2.4.3 Metais Pesados em Solos Agrícolas - Concentração Máxima de Metais em Solos Agrícolas:	32
2.4.4 Absorção de Metais Pesados pelas Plantas:.....	33
2.5 O LODO DE ESGOTO E AS PLANTAS DE GIRASSOL.....	34
3. MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1. SUBSTRATO PARA O PLANTIO DAS SEMENTES DE GIRASSOL (Helianthus annuus L.).....	36
3.2. ANÁLISE QUÍMICA DOS SUBSTRATOS APÓS ADIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	36
3.3. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS DE GIRASSOL (Helianthus annuus L.).....	37
3.4. CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES	37
3.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 EFEITOS DO LODO DE ESGOTO NO CRESCIMENTO SOB DUAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS (LODO NÃO ESTERILIZADO (“IN NATURA”) E ESTERILIZADO)	38
4.2 VARIAÇÃO DE PH NO SUBSTRATO COM LODO DE ESGOTO	45
4.3. INTERAÇÕES ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NO SUBSTRATO COM LODO DE ESGOTO	46
4.4. CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS	48
5. CONCLUSÕES	50
6. REFERÊNCIAS	51

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Visualização do experimento com lodo “in natura” aos 50 dias após o plantio. **38**
- Figura 2.** Comprimento das folhas com relação às doses de lodo de esgoto “in natura” e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos. **40**
- Figura 3.** Largura das folhas com relação às doses de lodo de esgoto “in natura” e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos. **40**
- Figura 4.** Altura do caule com relação às doses de lodo de esgoto “in natura” e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos. **41**
- Figura 5.** Visualização do experimento com lodo esterilizado aos 50 dias após o plantio. **42**
- Figura 6.** Comprimento das folhas com relação às doses de lodo de esgoto esterilizado e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos. **43**
- Figura 7.** Largura das folhas com relação às doses de lodo de esgoto esterilizado e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos. **43**
- Figura 8.** Altura do caule com relação às doses de lodo de esgoto esterilizado e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos. **44**
- Figura 9.** pH do substrato após 50 dias de crescimento de plantas de girassol em diferentes doses de lodo de esgoto “in natura” e esterilizado. **46**
- Figura 10.** Teores de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) nas amostras de substrato, em razão da adição de lodo de esgoto, após 50 dias de experimento. As linhas vermelhas representam os valores referenciais para a cultura do girassol, segundo o Manual de Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes de Minas Gerais, 5ª Aproximação (UFV, 1999). **47**
- Figura 11.** Acúmulo de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) na parte aérea das plantas de girassol, em razão da aplicação de lodo de esgoto. As linhas vermelhas representam os valores referenciais para a cultura do girassol, segundo o Manual de recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação (UFV, 1999). **49**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Situação do saneamento básico no Brasil por faixa etária	16
Tabela 2 - Altura média da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de lodo de esgoto “ <i>in natura</i> ” no substrato.	39
Tabela 3 - Altura média da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de lodo de esgoto esterilizado no substrato.	42
Tabela 4 - Análise comparativa do crescimento das plantas de girassol aos 50 dias após o plantio, submetidas ao Test t-student ao nível de 1% (**) e 5% (*) de probabilidade.	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Concentrações máximas permissíveis de metais no bioestabilizado para uso agrícola. **32**

Quadro 2 – Concentrações máximas permissíveis de metais em solos agrícolas para aplicação de bioestabilizado **33**

LISTA DE ABREVIATURAS

%	Porcentagem
µm	Micron
AIA	Avaliação do Impacto Ambiental
Al	Alumínio
C	Carbono
Ca	Cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio (Cal hidratada)
CaO	Óxido de cálcio (Cal virgem)
Cd	Cádmio
CEE	Comunidade Econômica Europeia
Cm	Centímetro
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
cmol _c	Centimol de carga
Co	Cobalto
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Cu	Cobre
DAP	Dias após o plantio
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
dm ⁻³	Decímetro cúbico
ECO-92	Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
ETE	Estações de Tratamento de Esgoto
Fe	Ferro
ha	Hectare
HCl	Ácido Clorídrico
Hg	Mercúrio
K	Potássio
Kg	Quilograma
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
mg	Miligrama
Mg	Magnésio

Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
n.s.	Não significativa
NaClO	Hipoclorito de sódio
Ni	Níquel
°C	Graus Celsius
OGM	Organismos Geneticamente Modificados
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogênio Iônico
ppm	Partes por milhão
PREND	Programa de Recebimento de Efluentes Não Domésticos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAEG	Sistema de Análise Estatística e Genética
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
Sn	Estanho
T	Tonelada
UVV	Universidade Vila Velha
V	Vanádio
WEF	Water Environmental Federation
Zn	Zinco

RESUMO

CARVALHO, J.C.A. M.Sc. Universidade Vila Velha - ES, Junho de 2012.
Crescimento de plantas de girassol (*Helianthus annuus L.*) tratadas com lodo de esgoto.

Orientador: Leonardo Barros Dobbss.

O destino final do lodo de esgoto apresenta custos elevados, em torno de 50% para as estações de tratamento, podendo ser a reciclagem desse resíduo boa alternativa para esse fim, ou seja, o cultivo de plantas utilizando como substrato o lodo de esgoto pode ser uma excelente alternativa para a sua disposição final. Esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da utilização do lodo de esgoto sob diferentes características de crescimento de plantas de girassol sob duas condições experimentais (tratamentos): na forma de lodo de esgoto não esterilizado (“*in natura*”) e esterilizado. O lodo foi coletado em uma Estação de Tratamento de Esgoto do Município de Vila Velha. O experimento foi conduzido na casa de vegetação da UVV num esquema fatorial 8x2 constando de sete doses de lodo de esgoto (0; 1; 5; 15; 25; 50; 75 e 100%) entre as duas condições experimentais (lodo de esgoto esterilizado; e não esterilizado - “*in natura*”) e cinco repetições. Os resultados mostraram alterações significativas no desenvolvimento vegetal e na acumulação de nutrientes pelas plantas com a utilização dos diferentes tratamentos. A esterilização do lodo reduziu o seu efeito positivo no crescimento das plantas sugerindo que existe uma participação positiva de microrganismos no incremento do crescimento vegetal. Foi possível concluir que o lodo de esgoto por suas características químicas e facilidade de produção serve como um bom substrato orgânico para plantas de interesse ornamental tal como o girassol.

Palavras chaves: resíduos urbanos, bio sólidos, reciclagem agrícola.

ABSTRACT

CARVALHO, J.C.A. M.Sc. University Vila Velha - ES, June de 2012. **Growth of plants, sunflower (*Helianthus annuus* L.) treated with sewage sludge.**

Advisor: Leonardo Barros Dobbss.

The final destination of sewage sludge presents high costs for the treatment plants and the recycling of this waste is a good alternative for this purpose, i.e. the cultivation of plants using sewage sludge as a substrate can be an excellent alternative to its final disposal. This work aimed to assess the effects of the use of sewage sludge under different growth characteristics of sunflower plants in two different experimental conditions (treatments): in the form of sewage sludge is not sterilized ("in natura") and sterilized. The slime was collected in a sewage treatment plant in the city of Vila Velha. The experiment was conducted at the greenhouse of the UVV outline 8 x 2 factorial is seven doses of sewage sludge (0; 1; 5; 15; 25; 50; 75 and 100%) between the two experimental conditions (sterile sewage sludge and non-sterile; "in natura") and five repetitions. The results showed significant changes in plant development and accumulation of nutrients by plants with the use of the different treatments. Sludge sterilization reduced its positive effect on plant growth by suggesting that there is a positive contribution of microorganisms in plant growth increment. Was possible to conclude that the sewage sludge by chemical characteristics and ease of production serves as a good organic substratum for plants of ornamental interest such as the sunflower.

Keywords: municipal waste, biosolids, agricultural recycling.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda da sociedade pela manutenção e melhoria das condições ambientais exige das autoridades e das empresas públicas e privadas, atividades que compatibilizem o desenvolvimento às limitações da exploração dos recursos minerais. Os recursos hídricos, até a geração passada considerados fartos, tornaram-se limitantes e comprometidos, em virtude da alta poluição em algumas regiões, necessitando de rápida recuperação. Nessas condições, os esgotos urbanos que são hoje os principais poluidores dos mananciais, devem ser tratados. O tratamento de esgotos, nas Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs gera um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes, denominado lodo de esgoto, cuja adequada disposição final no ambiente deveria ser preocupação já no planejamento das ETEs. Entretanto o destino final do lodo produzido não é contemplado nos diversos projetos de tratamento de esgoto, comprometendo os benefícios da coleta e do tratamento dos efluentes, tornando-se necessário desenvolver alternativas seguras e factíveis para que esse resíduo não seja um novo problema ambiental (Bettioli & Camargo, 2006).

Segundo Roel (2002), a industrialização da agricultura trouxe consequências sociais e ambientais, haja vista a utilização da tração animal e produção das sementes e insumos serem substituídos por maquinários e insumos químicos, além da dependência de fertilizantes e pesticidas sintéticos. A industrialização da agricultura, visando aumento na produção, utiliza alta tecnologia gerando aumento dos custos de produção. Os tratores, outras máquinas e herbicidas substituem o trabalho do homem no campo limitando as opções para sua permanência, além de gerar consequências com danos ecológicos e sociais.

Charboussou (1987) relatou que a ocorrência de pragas na agricultura convencional, relacionada com a susceptibilidade da planta a insetos, está ligada a fatores como a adubação mineral e o uso de pesticidas que interferem no equilíbrio entre a síntese e a decomposição de proteínas no processo de crescimento vegetal. Uma planta com nutrição equilibrada apresenta resistência natural a insetos, haja vista ser composta por uma maior quantidade de proteína e menor de aminoácidos. Segundo Pegorini *et al.* (2003) a disposição final do lodo de esgoto vem se caracterizando como um dos problemas ambientais urbanos mais relevantes da atualidade, e que cresce diariamente tanto nos países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento, com reflexos da ampliação das redes de coleta e

incremento dos níveis de tratamento. Segundo Chang *et al.* (1987) o acúmulo de elementos tóxicos em solos agrícolas, devido as aplicações sucessivas de lodo de esgoto é um dos aspectos que causam maior preocupação com relação à segurança ambiental necessária para a viabilização desta prática.

Bertoncini & Mattiazzo (1999), sugerem que num futuro próximo o tratamento de esgotos deveria tornar-se prática rotineira no nosso país, em virtude da crescente pressão da sociedade pela despoluição dos rios e das previsões de escassez de água. O resultado desse tratamento, independente do processo utilizado, gera o lodo de esgoto ou bio sólido, que pode conter metais pesados considerando sua origem doméstica ou industrial. Embora seja interessante seu uso no solo agrícola, esse resíduo, apesar de conter materiais orgânicos e nutrientes, conta com a presença de metais pesados gerando preocupação em relação a contaminação de camadas subsuperficiais do solo e águas subterrâneas por esses metais.

Zapparoli (1999) cita que estudos sobre a receptividade do bio sólido, adubo orgânico proveniente do lodo de esgoto, estão disponíveis. O conhecimento e interesse dos produtores rurais com relação a aplicação do lodo sanitário na forma de adubo orgânico pode ser considerado limitado. Esse desconhecimento relaciona-se com fato de não saberem onde aplicar este tipo de adubo, porém há interesse em fazer testes com o lodo de esgoto, que esta dissertação tenta dar sua colaboração.

Por se tratar de um resíduo urbano, apesar da resposta na produtividade e desenvolvimento de diversas culturas, há necessidade de se seguir critérios rigorosos para sua aplicação na agricultura, pois em sua composição existem poluentes como compostos orgânicos, metais pesados e microrganismos patogênicos ao homem (Araujo *et al.*, 2009). A Resolução nº. 375/2006 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) define os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto. E com base na legislação vigente, Silva (2008) enfatiza que devem ser observados os critérios relativos às cargas máximas desses poluentes a serem acondicionados no solo, às culturas que podem ser adubadas, às práticas de manejo do solo, transporte e aplicação desse resíduo.

Surge a hipótese à ser testada: A aplicação de bio sólido melhora o estado nutricional e promove o crescimento de mudas de girassol?

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da utilização de diferentes doses de lodo de esgoto sob o crescimento de plantas de girassol em duas condições experimentais: lodo de esgoto não esterilizado (*“in natura”*) e esterilizado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BREVE HISTÓRICO

A prática da disposição de esgotos na agricultura é uma prática antiga (Bettiol & Camargo, 2006). As informações mais conhecidas são as originárias da China. No ocidente, na Prússia, a irrigação com efluentes de esgoto era praticada desde 1560. Na Inglaterra, por volta de 1800, foram desenvolvidos projetos para utilização agrícola dos efluentes de esgoto, em especial pela razão do combate a epidemia de cólera. No Brasil, o déficit no número de cidades com ETE inviabiliza a difusão da experiência de incorporar resíduos de esgoto, lodo e efluente, aos solos. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, menos de 10% do esgoto urbano produzido é tratado antes de ser lançado nos rios, sendo as crianças na faixa etária entre 0 e 15 anos as mais afetadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Situação do saneamento básico o Brasil por faixa etária.

População	Sem esgoto	Sem água encanada	Sem coleta de lixo
0 a 15 anos	45%	23%	37%
> 60 anos	37%	18%	30%

Fonte: Bettiol & Camargo, 2006.

Roel (2002) ressalta que a conscientização social dos problemas ambientais globais, relacionados com a agricultura mundial, tem seu momento chave com publicação do livro *Primavera Silenciosa* (Raquel Carson, 1962), onde a autora denuncia as contaminações ambientais e a mortalidade de animais silvestres relacionadas com agrotóxicos. Já na década de 1990 a necessidade da conscientização sobre o problema ambiental é tema da Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Meio Ambiente (ECO-92), novamente abordada por ocasião da RIO + 20.

A história da agricultura orgânica remonta ao início da década de 20 com o trabalho do pesquisador inglês Albert Howard, que, em viagem à Índia, observou as práticas agrícolas de compostagem e adubação orgânica utilizada pelos camponeses, relatando-as posteriormente em seu livro *Um testamento agrícola*, de 1940 (Ormond *et al.*, 2002). Ainda citando Ormond *et al.* (2002), na década de 70, começaram a surgir no comércio da Europa os primeiros produtos orgânicos. O

movimento se solidificou no final da década de 80, tendo seu maior crescimento em meados dos anos 90, com o programa instituído pelo Council Regulation da CEE (Comunidade Econômica Européia) no documento 2092/91, de 24 de junho de 1991, que estabeleceu as normas e os padrões de produção, processamento, comercialização e importação de produtos orgânicos de origem vegetal e animal nos seus estados membros. Tal documento vem sendo alterado com frequência para incorporar os avanços nas práticas de produção, processamento e comercialização desses produtos.

Avaliação do Impacto Ambiental (AIA) começou a ser empregada nos EUA na década de 60. Em 1972, na histórica Conferência de Estocolmo, apenas 11 países tinham instituído algum órgão de controle ambiental. Porém, em 1986 este número passou para 106 países. A expressão ecodesenvolvimento, aos poucos, foi sendo substituída por desenvolvimento sustentável, na década de 80 (Barbieri, 1997).

No Brasil, ainda na década de 70, a produção orgânica estava diretamente relacionada com movimentos filosóficos que buscavam o retorno do contato com a terra como forma alternativa de vida em contraposição aos preceitos consumistas da sociedade moderna. A recusa de uso do pacote tecnológico da chamada agricultura moderna, intensivo em insumos sintéticos e agroquímicos e vigorosa movimentação de solo, acrescenta a vertente ecológica ao movimento. A comercialização dos produtos obtidos era feita de forma direta, do produtor ao consumidor, e tinha como clientes aqueles que defendiam filosofias análogas, assemelhando-se a uma “ação entre amigos” (Ormond *et al.*, 2002).

A Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) investiga a aplicação do lodo de esgoto na agricultura desde 1988. Dezenas de pesquisas científicas já foram realizadas em escala piloto, o que ajudou a delinear as normas que hoje são copiadas por outros estados brasileiros (Galleli *et al.*, 2007).

A partir da década de 90 do século passado, a questão do lixo ganhou maior prestígio no campo acadêmico e na mídia, pelos índices alarmantes dos impactos ambientais causados pelas formas de tratamento e destinação final inadequada e pela crescente divulgação dos projetos de reciclagem dos países do primeiro mundo, indicam Tambosi Filho *et al.* (2000).

2.2. O MEIO AMBIENTE, A CONSCIENTIZAÇÃO SOCIAL E A SUSTENTABILIDADE

O atendimento com serviços de água e esgotos é um dos mais importantes indicadores do desenvolvimento de um país, identificando a qualidade de vida da população. Dentre os indicadores utilizados para a medição da qualidade de vida está o percentual de domicílios com rede geral de água. Esta variável indica a proporção de residências, num município ou num bairro, que são atendidas por um serviço básico de infra-estrutura urbana, podendo ser contabilizada apenas a proporção de residências, que combinam rede geral de água e canalização interna. A regularidade de abastecimento de água limpa e tratada contribui para a redução da taxa de mortalidade infantil e, conseqüentemente, para o aumento da esperança de vida ao nascer (Zaparolli, 1999).

Altieri & Mazera (1998) citam que os problemas ambientais da América Latina passam pela hiperurbanização; pela poluição industrial e agrícola, relacionada com o consumo de pesticidas, degradação do solo e da água, pela erosão, poluição e sedimentação química; pela perda da biodiversidade e desmatamento, relacionada com a formação de pastos e áreas agrícolas; além da perda da diversidade genética das espécies cultivadas ou nativas.

A crescente população dos centros urbanos é importante produtora de diversos resíduos, os quais, muitas vezes, são acumulados no ambiente sem o adequado tratamento, ou utilização, que possibilite sua reciclagem. Dentre esses resíduos, pode-se destacar o lodo de esgoto, ou bio-sólido, resultante do tratamento das águas servidas, que apresenta potencialidade para utilização agrícola. Este resíduo contém considerável percentual de matéria orgânica e de elementos essenciais para as plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais, podendo desempenhar importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (Nascimento *et al.*, 2004).

A ausência de rede coletora de esgotamento sanitário público faz com que a população use, como alternativa, sanitários isolados, valas negras e o esgoto a céu aberto. Neste caso, tanto a população infantil quanto adulta ficam expostas a doenças infecciosas e parasitárias. A sujeira atrai também animais nocivos à saúde, como ratos e degrada as condições de vida e o meio ambiente. O efluente, após tratamento, pode ser devolvido aos receptores e o lodo pode ser desidratado através da utilização de leito de secagem, instalação de centrífuga móvel ou fixa e prensa

desaguadora; a execução de usinas de compostagem ou de calagem pode ser uma alternativa viável contra a poluição hídrica. O bio sólido possui alternativas técnicas de desidratação, tecnologias naturais: leito de secagem e tecnologias mecanizadas: centrífugas, prensa desaguadora, centrífugas (belt press), filtro prensa e secagem térmica (Zapparoli, 1999).

A reciclagem agrícola de resíduos urbanos e industriais atende ao novo paradigma de desenvolvimento sustentável, combinando eficiência ecológica e viabilidade econômica. Afinal, os custos de produção da atividade agropecuária são altos e é necessário encontrar alternativas para reduzi-los e aumentar a renda do produtor rural (Santos *et al.*, 2002; Zuin & Queiroz, 2006; Mendes & Padilha JR., 2007; Neves, 2007).

O desenvolvimento sustentável propõe que o crescimento econômico atenda as necessidades humanas de forma justa, respeitando a integridade ecológica dos sistemas naturais, cujas alternativas técnicas de produção, sejam economicamente viáveis. Para a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1988), “desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades”. O conceito de desenvolvimento sustentável, apesar de ter sua viabilidade bastante questionada no meio acadêmico, vem sendo incorporado por diversos setores da comunidade internacional (Sobral, 1999).

O desmatamento, a produção de energia e a agricultura predominam como causas para os problemas ambientais globais. O Brasil, considerado detentor da maior diversidade do planeta, através do momento de conscientização nacional e internacional necessita conservar esse capital biológico (Odali-Rimoli *et al.*, 2000).

O Brasil é o terceiro maior consumidor de pesticida e o terceiro em mortalidade por câncer, pois muitas substâncias tóxicas utilizadas na agricultura têm efeito carcinogênico, mutagênico e teratogênico ao homem e a animais, mesmo que as conseqüências sobre a saúde humana sejam conhecidas apenas em relação a 10% dos produtos atualmente utilizados ou recentemente proibidos (Ehlers, 1996).

2.2.1. Agricultura Ecológica e Sustentabilidade na Agricultura

O sistema econômico precisa de mudanças para proteger o que resta da diversidade biológica e dos recursos naturais. Esse tipo de economia linear é prejudicial ao meio ambiente porque destrói o ecossistema e esgota os recursos naturais. É baseado na produção “pega, fabrica e descarta”. O melhor modelo seria o circular porque evita perdas ecológicas e se obtém benefícios comerciais. O problema não está na falta de energia, e sim na preservação dos recursos naturais; e isto só é possível com uma economia circular (Vet, 2010).

Bonilla (1992) relata que os modelos de agricultura alternativa (Agricultura Biodinâmica, Agricultura Biológica e Permacultura), onde a produção de alimentos não utiliza produtos químicos sintéticos, por convenção passaram a ser chamados de agricultura orgânica. Já a agroecologia engloba questões sociais.

Considerando a agricultura orgânica, a sensibilização dos governos, através da adoção de legislações específicas para a certificação de produtos orgânicos é uma questão de fundo muito bem apresentado por Silva (1995):

[...a principal contribuição desse movimento (ambientalista) não está na criação de novas tecnologias ditas alternativas ou sustentáveis, mas na criação de uma nova consciência social a respeito das relações homem-natureza; na produção de novos valores filosóficos, morais e até mesmo religiosos; e a gestão de novos conceitos jurídicos,...].

Na agricultura orgânica, a produção de alimentos mais saudáveis não se refere unicamente à substituição de insumos como pesticidas e fertilizantes minerais por outros de natureza orgânica também conhecidos como biológicos e/ou ecológicos. Essa atividade requer um cumprimento do setor produtivo com o holístico da produção agrícola, onde o uso eficiente dos recursos naturais, a manutenção da biodiversidade, a proteção do meio ambiente, o desenvolvimento econômico, bem como, a qualidade de vida do homem estejam igualmente contemplados (Pinheiro & Barreto, 1996; Neves *et al.*, 2000; Souza & Resende, 2003).

Segundo Altieri (2001), “o objetivo é trabalhar com e alimentar sistemas agrícolas complexos onde as interações ecológicas e sinergismos entre os componentes biológicos criem, eles próprios, a fertilidade do solo, a produtividade e a proteção das culturas”.

A utilização de insumos que tenham como base recursos minerais não-renováveis ou compostos sintéticos não é compatível com esse processo, pois representa uma intervenção brusca nas características do solo, na fisiologia das plantas e animais e, conseqüentemente, no ambiente (Ormond *et al.*, 2002).

O aumento do custo dos fertilizantes comerciais e a crescente poluição ambiental fazem do uso de resíduos orgânicos na agricultura uma opção atrativa do ponto de vista econômico, em razão da ciclagem de C e nutrientes. Isso gera aumento na demanda por pesquisas para avaliar a viabilidade técnica e econômica dessa utilização. São muitos os resíduos orgânicos de origens urbana, industrial e agrícola que podem ser usados na agricultura, sendo exemplos: esterco de bovino, de galinha e de suíno, torta de filtro, torta de mamona, adubos verdes, turfa, lodo de esgoto, resíduos oriundos da fabricação de álcool e açúcar, compostos orgânicos, resíduos do processamento de frutos, etc. Em relação à matéria orgânica, o teor de substâncias húmicas e, por conseguinte, o estágio de humificação dos resíduos de uso agrônômico é variável e exercem influência sobre a biodisponibilidade desses materiais em solo (Moral *et al.*, 2005).

Segundo Roel (2002), no sistema agrícola convencional o ambiente natural é alterado, pois se cultiva uma única espécie vegetal em áreas extensas, com solo revolvido e com uso de corretivos e fertilizantes químicos inorgânicos e solúveis. Nesse solo, parcial ou totalmente descoberto, os raios solares incidem diretamente, diminuindo a umidade e aumentando o calor, comprometendo a capacidade de retenção de água, essencial a todo ser vivo. Tal condição compromete a vida de microorganismos decompositores de matéria orgânica, além de minhocas, insetos, aracnídeos, fungos, bactérias e vírus, inimigos naturais de parasitos e predadores de insetos daninhos.

Segundo Meirelles (1997), a adubação química altera a constituição química do tecido vegetal, o sabor e o aroma dos alimentos produzidos, devido a alteração das quantidades de açúcares, carboidratos, minerais e aminoácidos. Nos cultivos orgânicos a aparência saudável das plantas é comprovada, bem como a redução do número de insetos fitófagos, preservando a necessária presença de inimigos naturais e de polinizadores.

Em contrapartida, os alimentos orgânicos apresentam maior concentração de nutrientes e menos substâncias tóxicas. Levantamentos feitos com maçãs, peras, batatas, trigo e milho doce, mostram que o alimento orgânico contém mais cálcio, cromo, ferro, magnésio, molibdênio, fósforo, potássio, zinco e menos mercúrio,

segundo Meirelles (1997), com base em um estudo publicado no *Journal of Applied Nutrition* (1993).

Os fertilizantes necessários podem ser obtidos a partir de compostos orgânicos de resíduos vegetais e animais, com o auxílio de técnicas de compostagem e de biofertilizantes. Essas técnicas consistem na decomposição de matéria orgânica vegetal e animal, sendo a vermicompostagem a produção de húmus por meio de minhocas. Esses produtos são eficazes para o controle de doenças e induzem as plantas a uma maior resistência (Burg & Mayer, 1999).

Miklós (1999) destaca que a agricultura ecológica incorpora à produção agropecuária a conservação ambiental, o compromisso social da agricultura em relação aos produtores e consumidores, bem como a sustentabilidade ecológica dos sistemas de produção. Por isso, é a que representa maior potencial para atingir a tão almejada sustentabilidade na agricultura.

Ormond *et al.* (2002) ressaltam que a Instrução Normativa 007/99, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), em seu item 1.1, considera “sistema orgânico de produção agropecuária e industrial todo aquele em que se adotam tecnologias que otimizem o uso dos recursos naturais e socioeconômicos, respeitando a integridade cultural e tendo por objetivo a auto-sustentação no tempo e no espaço, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energias não-renováveis e a eliminação do emprego de agrotóxicos e outros insumos artificiais tóxicos, organismos geneticamente modificados (OGM)/transgênicos ou radiações ionizantes em qualquer fase do processo de produção, armazenamento e de consumo, e entre os mesmos privilegiando a preservação da saúde ambiental e humana, assegurando a transparência em todos os estágios da produção e da transformação, visando:

- 1) a oferta de produtos saudáveis e de elevado valor nutricional, isentos de qualquer tipo de contaminantes que ponham em risco a saúde do consumidor, do agricultor e do meio ambiente;
- 2) a preservação e a ampliação da biodiversidade dos ecossistemas, natural ou transformado, em que se insere o sistema produtivo;
- 3) a conservação das condições físicas, químicas e biológicas do solo, da água e do ar; e o fomento da integração efetiva entre agricultor e consumidor final de produtos orgânicos e o incentivo à regionalização da produção desses produtos orgânicos para os mercados locais.”

Ainda segundo Ormond *et al.* (2002), alguns autores sugerem que o ideal para se iniciar um cultivo orgânico seria a utilização de terras inexploradas e instalações novas. Porém, a sugestão conflita com os próprios preceitos da filosofia da produção orgânica, pois a utilização de terras novas certamente levaria a novos desmatamentos e, conseqüentemente, a maiores desequilíbrios ambientais. Assim, a conversão de áreas de agricultura convencional para o manejo orgânico é o método mais utilizado, embora mais demorado e oneroso.

A adubação orgânica tem grande importância no cultivo de hortaliças, principalmente em solos de clima tropical, onde a queima de matéria orgânica se realiza intensamente, e onde seu efeito é bastante conhecido nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Allison, 1973; Senesi, 1989; Swift & Woome, 1993).

2.3 LODO DE ESGOTO: CONSIDERAÇÕES

No Brasil, a crescente urbanização aumentou a produção de resíduos sólidos urbanos, principalmente o lixo e o lodo de esgoto. O tratamento e a disposição final destes dois resíduos envolvem custos elevados e muito trabalho. A reciclagem agrícola de lixo orgânico e de lodo de esgoto é uma alternativa ambientalmente correta e economicamente viável, desde que haja controle de patógenos, limites de metais pesados, dose aplicada e frequência de aplicação (Brito & D'Oliveira, 2010).

Apesar da utilização para fins agrícola e florestal, como condicionador do solo e ou fertilizante, ser uma das alternativas para a disposição do lodo de esgoto, pelo fato de sua riqueza em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas, alguns cuidados devem ser observados, em especial os relacionados com a presença de poluentes em sua composição; dentre eles: metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos ao homem (Bettioli & Camargo, 2006).

A crescente população dos centros urbanos é importante produtora de diversos resíduos, os quais, muitas vezes, são acumulados no ambiente sem o adequado tratamento, ou utilização, que possibilite sua reciclagem. Dentre esses resíduos, pode-se destacar o lodo de esgoto, ou bio-sólido, resultante do tratamento das águas servidas, que apresenta potencialidade para utilização agrícola. Este resíduo contém considerável percentual de matéria orgânica e de elementos essenciais para as plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os

fertilizantes minerais, podendo desempenhar importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (Nascimento *et al.*, 2004).

No Brasil é difícil prever a evolução da quantidade de lodo produzida, pelas diferenças regionais. Contudo, para os próximos anos espera-se um aumento na criação de novas estações de tratamento de esgoto (ETEs), resultando em maior produção de lodo. No ano de 2015 estima-se que a região metropolitana de São Paulo alcance uma produção de lodo de 766 t/dia. No Paraná a produção de lodo de esgoto se concentra na capital (Curitiba) e nos grandes pólos do Estado (BRITO & D'Oliveira, 2010).

Desta forma, a aplicação do lodo de esgoto no solo apresenta-se como uma tendência mundial (Lopes *et al.*, 2005). Esta técnica consiste na disposição do lodo uniformemente sobre o terreno de modo a promover a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo ou do desenvolvimento da cobertura vegetal implantada. No Brasil, existem experiências como a de Curitiba, onde foi criado no início desta década o programa para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto. Alternativas com estas têm apresentado bons resultados, conforme relatam Silva *et al.* (2002), podendo ser utilizado por meio da reciclagem, na agricultura, silvicultura, floricultura, paisagismo ou recuperação de áreas degradadas submetidas a processo de revegetação. A reciclagem via utilização agrônômica é a forma que apresenta maior potencial em razão do seu uso como fertilizante e condicionador do solo, além dos maiores benefícios ambientais.

Experimentos realizados pela SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) nas regiões de Londrina, Paranavaí e Curitiba demonstraram a eficácia do lodo de esgoto como adubo orgânico. Pioneiro nas pesquisas sobre o assunto, o Paraná sai na frente, também, como o primeiro a ter um plano de gestão do esgoto. Quase 20 anos de pesquisas mostram que a reciclagem do lodo de esgoto pode ocorrer de maneira a favorecer os agricultores e reduzir impactos no meio ambiente. Os autores relatam que a utilização agrícola do bio sólido é adotada em outros países (Galleli *et al.*, 2007)

Para Andreoli *et al.* (1997), a reciclagem agrícola é uma das alternativas para a adequada disposição do lodo de esgoto tratado, haja vista contribuir na resolução do problema da disposição final, além de se constituir como fonte de insumo para a agricultura. Importante ressaltar a necessidade das políticas para a reciclagem do lodo serem baseadas em cuidadosos estudos para definição de critérios agrônômicos, ambientais e sanitários, visando garantir sua utilização com total

segurança. A regulamentação do uso de esgoto deve, portanto, estar embasada em estudos locais, de modo a evitar que esta atividade traga riscos à população. Devemos ter em mente que exigências excessivamente restritivas podem inviabilizar a reciclagem agrícola trazendo como conseqüência destinos menos apropriados. O excesso de zelo pode transformar-se em aumento de risco à população.

São inúmeras as vantagens do adubo orgânico em relação ao adubo químico, tais como: aumento da produção com menor custo, maior fertilidade do solo com a absorção e retenção de umidade; em resumo apresenta melhoria na estrutura física e, principalmente, não é tóxico, relata Zapparoli (1999).

O tratamento adequado ao esgoto doméstico é um problema enfrentado por todas as cidades do mundo. A crescente e inevitável urbanização aumenta cada vez mais a produção de detritos orgânicos que, se não forem tratados, tornam-se fonte de poluição e contaminação do meio ambiente. Entre as alternativas de disposição final do lodo de esgoto permeiam a disposição de superfície, a disposição oceânica, lagoas de armazenagem, os aterros sanitários, a incineração e a reciclagem agrícola. Várias instituições estão pesquisando a transformação do lodo em adubo para a agricultura. Com este trabalho o agricultor poderá ter um novo insumo, aumentar sua produtividade e ainda evitar o despejo de lodo de esgoto em cursos d'água. "Segundo orientação da Water Environmental Federation — WEF —, caso o lodo de esgoto tenha uma composição predominantemente orgânica e possa ter uma utilização benéfica, estes resíduos devem ser denominados de Biossólidos" (Andreoli & Pegorini, 1998).

O lodo de esgoto pode desempenhar importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Dentre os efeitos do lodo de esgoto sobre as propriedades físicas do solo, considerando a presença de matéria orgânica, destaca-se a melhoria do estado de agregação das partículas do solo, com conseqüente diminuição da densidade e aumento na aeração e retenção de água (Melo & Marques, 2000).

Quanto aos aspectos químicos, a aplicação de lodo ao solo tem propiciado elevação dos teores de fósforo (Silva *et al.*, 2002), de carbono orgânico (Cavallaro *et al.*, 1993), da fração húmica da matéria orgânica (Melo *et al.*, 1994), do pH, da condutividade elétrica e da capacidade de troca de cátions (Oliveira *et al.*, 2002).

Para que o esgoto não cause problemas ao meio ambiente são necessários coleta, remoção e tratamento antes do lançamento nos corpos receptores. A quantificação da carga orgânica poluente do esgoto é medida em termos de sua

DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), que exprime a quantidade de oxigênio necessária para a biodegradação da fração orgânica de esgoto (Fernandes & Andreoli, 1997).

A disposição final do lodo de esgoto é um desafio em todo o mundo por seus custos elevados, que podem atingir até 60% dos custos operacionais de ETE. Embora o lodo de esgoto seja um fertilizante orgânico, assim como o composto de lixo urbano, o vermicomposto, os esterco animais e as tortas vegetais, existem restrições no Brasil quanto ao seu uso na agricultura. Provavelmente o alto custo dos adubos minerais, aliado às dificuldades em adquirir adubos orgânicos, pode levar a uma demanda de lodo de esgoto, especialmente para uso em parques, jardins e viveiros florestais (D'Oliveira, 2006).

Do ponto de vista econômico, o uso do lodo como fertilizante representa o reaproveitamento integral de seus nutrientes e a substituição de parte das doses de adubação química sobre as culturas, com rendimentos equivalentes ou superiores aos conseguidos com fertilizantes comerciais. A propriedade do produto torna-o interessante a solos agrícolas degradados por manejo inadequado, bem como para recuperação dessas áreas (Andreoli & Pegorini, 1998).

Atualmente, a gestão ambiental faz parte da empresa, urbana ou rural, pois é necessário atender à legislação ambiental cada vez mais rigorosa, ao mesmo tempo em que se atende ao consumidor mais consciente e exigente (Barbieri, 2007). No Brasil, as últimas décadas mostraram crescimento populacional, êxodo rural e o aumento das populações urbanas, causando maior produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) e também de lodo de esgoto (D'Oliveira, 2006; Gianetti & Almeida, 2006).

A utilização do biossólido nas propriedades agrícolas está associada à informação que os produtores agrícolas receberão acerca do produto, pois uma das preocupações desses produtores relaciona-se com a qualidade do produto, sendo importante a recomendação e acompanhamento de um profissional agrônomo, devido à falta de potássio, cálcio e magnésio e, principalmente, que deverá ser um produto economicamente viável (Zapparoli, 1999).

No caso dos solos, o uso de resíduos orgânicos, por conterem altos teores de matéria orgânica, contribui para maior armazenamento de C no solo, aumento da CTC, maior complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, melhoria da estrutura, maior infiltração e retenção de água, aumento da aeração e da atividade e diversidade microbianas (Simonete, 2001; Ceretta *et al.*, 2003; Rocha *et al.*, 2004),

constituindo-se, assim, em componentes fundamentais para o aumento da capacidade produtiva do solo. Por se tratar de fontes importantes de matéria orgânica, há também a necessidade de conhecer melhor as diferentes frações orgânicas presentes nesses resíduos, visto que o grau de humificação e a presença de moléculas orgânicas de maior biodisponibilidade são fatores determinantes da capacidade desses materiais em adsorver cátions e em liberar nutrientes para as plantas. A utilização agrícola de resíduos sólidos, como adubo orgânico, deve ser realizada segundo critérios técnicos. Nesse caso, a quantificação dos teores de N mineral e de N potencialmente mineralizável presente nos resíduos orgânicos é critério importante para definir as doses de resíduos a serem adicionadas nas lavouras (Abreu Júnior *et al.*, 2005).

De acordo com Sharma *et al.* (1997), são admitidos, para uso nas lavouras, materiais com pH em água na faixa de 6 a 8,5. Assim, o esterco de bovino e o composto, se aplicados ao solo, em doses elevadas, poderiam modificar o valor de pH, para uma faixa acima daquela considerada adequada ao pleno crescimento das culturas. Do mesmo modo, o material húmico e o lodo de esgoto, aplicados no solo em altas doses, poderiam acidificá-lo, prejudicando a cultura existente ou a ser implantada.

O lodo de esgoto tem apresentado bons resultados como fertilizante para diversas culturas, dentre elas soja e trigo (Brown *et al.*, 1997), milho (Silva *et al.*, 1997), feijão e girassol (Deschamps & Favaretto, 1997), sendo, portanto, um fertilizante potencial em diversas condições de solo e clima. Barros *et al.* (2002) verificaram ocorrência de aumento dos teores de nitrogênio em plantas, que foram proporcionais ao aumento das doses de lodo de esgoto adicionadas, enquanto Silva *et al.* (2002) comprovaram que o biossólido utilizado obteve eficiência 25 % superior à do superfosfato triplo como fonte de fósforo para o milho. O potássio, em virtude da baixa concentração em lodo, advinda de sua alta solubilidade em água, tem sido o elemento de maior necessidade de suplementação com fertilizantes minerais quando da utilização do lodo para adubação (Ross *et al.*, 1990; Melo *et al.*, 1997).

Mello & Vitti (2002) relatam que com o surgimento de novos processos de tratamento que permitem a redução do potencial poluidor dos resíduos orgânicos, o uso agrônomico deles, como fonte de nutrientes às plantas e como condicionadores dos solos, tem se constituído em alternativa interessante na preservação da qualidade ambiental. Além de possuírem matéria orgânica, que pode melhorar as

propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, os materiais orgânicos contêm nutrientes, dentre eles o N.

O lodo de esgoto, dependendo do tipo de tratamento das águas residuárias e da época de sua produção, caracteriza-se por apresentar quantidades elevadas de matéria orgânica. Neste aspecto, o lodo de esgoto desempenha uma função extremamente importante na dinâmica dos solos, influenciando em suas características químicas, físico-químicas, biológicas e físicas (Barbosa *et al.*, 2004).

Porém, em virtude da grande diversidade de materiais orgânicos, os efeitos de suas aplicações no solo são variáveis, necessitando de novas pesquisas, visando principalmente aqueles pouco estudados, dentre os quais pode-se citar os materiais derivados do lodo biológico produzido pelas indústrias de cervejarias. Esse resíduo, produzido em grande volume, é um grande problema para as indústrias, uma vez que a sua disposição em aterros sanitários está se tornando inviável, por razões econômicas e ecológicas (Mello & Vitti, 2002).

A disposição final adequada do lodo de esgoto é uma etapa no processo operacional de uma estação de esgoto, porém seu planejamento tem sido negligenciado e apresenta um custo que pode alcançar até 50% do orçamento operacional de um sistema de tratamento (Bettiol & Camargo, 2006).

2.4 LIMITAÇÕES PARA O USO DO LODO DE ESGOTO

A presença de metais pesados constitui uma das principais limitações ao uso do lodo na agricultura. De modo geral, as concentrações de metais encontradas no lodo são muito maiores que à naturalmente encontradas em solos, daí a necessidade de avaliação dos riscos associados ao aumento desses elementos no ambiente em decorrência da aplicação desse resíduo. Esses riscos dependem de características do solo, tais como: conteúdo original do metal, textura, teor de matéria orgânica, tipo de argila, pH e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (Nascimento *et al.*, 2004).

Os metais pesados se encontram distribuídos por toda a natureza. Nos solos, os metais são originários de rocha de origem e de outras fontes adicionadas ao solo como: precipitação atmosférica, cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (esterços de animais, lixo domiciliar e bio sólidos). Os metais contidos nos bio sólidos são originários da atividade industrial, pois as estações de tratamento de

esgotos recebem os esgotos sanitários, que são constituídos de esgoto doméstico, água de infiltração e esgoto industrial, sendo que os principais metais contidos nos biossólidos são: Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cádmio (Cd), Zinco (Zn), Chumbo (Pb) e Cromo (Cr). A intensidade da concentração desses metais é função da maior ou menor participação de esgotos industriais (Tsutiya, 2001).

O lodo de esgoto doméstico apresenta baixas concentrações de metais pesados, mas o lançamento de efluentes industriais no sistema de captação de esgoto pode causar nos tecidos das plantas a concentrações tóxicas de metais pesados. Esta concentração é variável, sendo menos nos grãos do que nas partes mais utilizadas nos ensaios com lodo de esgoto, tanto em casa de vegetação como em condições de campo. Estudo realizado em cinco tipos de solos resultou em um aumento do pH, em todos os solos, diminuição ou eliminação do alumínio trocável e maior produção de matéria seca da parte aérea do milho. Na região de Londrina o milho chegou a produzir 4.540 kg/ha com a dose de 36/ha/ano. Em girassol e feijoeiro o lodo de esgoto pode substituir em 100% a adubação mineral recomendada como fonte de nitrogênio. Por outro lado, a produção de flores e plantas ornamentais parece uma alternativa sensata para reciclagem de lodo de esgoto (D'Oliveira, 2006).

Segundo Andreoli & Pegorini (2000), o uso agrícola do lodo de esgoto foi exaustivamente pesquisado em todo o mundo, não havendo registro de nenhum efeito adverso sobre o ambiente, por exemplo, poluição com metais pesados, quando o mesmo foi utilizado seguindo qualquer uma das diferentes regulamentações existentes. A longo prazo, entretanto, o aumento da concentração de metais no solo resultante da aplicação do lodo torna-se uma preocupação justificada, pois, se não adequadamente controlado, pode ameaçar a cadeia trófica (Hue, 1995).

O trabalho avaliou os efeitos da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) sobre as características químicas de dois solos, inclusive quantidades de metais pesados adicionados e absorvidos, e produção de matéria seca de plantas de milho e de feijoeiro cultivadas em casa de vegetação, visando à sua posterior utilização em ensaios de campo (Hue, 1995).

Estudos sobre a movimentação de metais em solos tratados com lodo de esgoto sugerem que a quantidade de metais lixiviados, embora seja menor que 1% do total adicionado, pode elevar-se em solos arenosos, com baixos teores de

matéria orgânica e sujeitos a chuvas intensas. Esses metais podem permanecer adsorvidos ou complexados até que mudanças ocorram no sistema (Schirado *et al.*, 1986; Lamy *et al.*, 1993; Taylor *et al.*, 1995).

O tratamento da fração orgânica dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) e do lodo de esgoto é um processo caro, trabalhoso e exige novas alternativas para sua disposição final. Através da compostagem e vermicompostagem, os RSU orgânicos podem ser convertidos em adubos de excelente qualidade, para uso agrícola e florestal (Alves, 1998). Da mesma forma, o lodo de esgoto pode passar por tratamentos químicos, físicos e biológicos para sua estabilização e ser usado na agricultura (D'Oliveira, 2006).

2.4.1 Metais Pesados:

Metais pesados são elementos químicos que possuem peso específico maior que 5 g/cm^3 ou número atômico maior do que 20. Entretanto, o termo “metais pesados” é utilizado para elementos químicos que contaminam o meio ambiente, provocando diferentes danos à biota, podendo ser metais, semi-metais e mesmo não metais como o selênio. Os principais elementos químicos enquadrados neste conceito são: alumínio, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco. Esses elementos são encontrados naturalmente no solo em concentrações inferiores às aquelas consideradas como tóxicas para diferentes organismos vivos. Entre os metais, o arsênio, o cobalto, o cromo, o cobre, o selênio e o zinco são essenciais para os organismos vivos (Tsutiya, 2001).

Os metais pesados contidos nos biossólidos, podem ser divididos em duas categorias, dependendo do risco que eles representam às plantas e aos animais. São considerados metais que oferecem pequeno risco, o manganês, o ferro, o alumínio, o cromo, o arsênio, o selênio, o antimônio, o chumbo e o mercúrio. Os metais potencialmente perigosos aos homens e aos animais são os seguintes: zinco, cobre, níquel, molibdênio e cádmio (Tsutiya, 2001).

Os metais pesados que são considerados micronutrientes para as plantas, podem ser classificados como:

- Essenciais: Cu, Fe, Mn, Mo, Zn;
- Benéficos: Co, Ni, V;

- Não essenciais ou sem função: Al, Cd, Cr, Hg, Pb.

Para Beckett (1991), a toxidez devido ao metal pesado para a planta e para o animal, deve ser acompanhada e por isso medida pelas seguintes variáveis: diminuição no crescimento ou redução na colheita, sintomas visíveis e concentração no tecido. O primeiro efeito ou manifestação pode ser devido à interferência provocada pelo elemento na absorção, transporte ou funções de outro. O sintoma visível, que poderá não ser específico, é o resultado de uma cadeia de acontecimentos que começa com uma alteração ao nível molecular, continua com modificação subcelular que, por sua vez, conduz a uma alteração celular a qual, finalmente, resulta em modificação no tecido, isto é, no sintoma.

2.4.2 Metais Pesados nos Biossólidos:

A presença de metais pesados nos biossólidos depende de duas condicionantes básicas: • Representatividade dos lançamentos industriais em relação às vazões coletadas de origem doméstica; • Controle dos lançamentos industriais.

A primeira condicionante refere-se à diluição de poluentes, independentemente da observância ou não da legislação que rege os lançamentos industriais. Quanto maior as vazões de origem doméstica, menor serão as concentrações de metais pesados nos biossólidos. É de importância fundamental o controle de efluentes industriais, para uma boa qualidade de biossólidos gerados em ETE's, principalmente no que se refere às concentrações de metais pesados. Para a Região Metropolitana de São Paulo, o controle de efluentes industriais está sendo realizado através do PREND - Programa de Recebimento de Efluentes Não Domésticos que estabelecem diretrizes e procedimentos para os lançamentos de efluentes industriais (Tsutiya, 2001).

As concentrações máximas permissíveis de metais nos biossólidos, para uso agrícola, foram estabelecidas em 17 países: Comunidade Européia, Bélgica, Dinamarca, Inglaterra, Alemanha, França, Grécia, Itália, Holanda, Finlândia, Noruega, Suécia, Escócia, Suíça, Áustria, Canadá e Estados Unidos. Os países como a Holanda e a Suécia tendem a restringir os valores máximos de metais pesados, por outro lado, os Estados Unidos, recomendam os maiores níveis permitidos para todos os elementos, com exceção do chumbo (Quadro 1). Para o

Estado de São Paulo, a Cetesb propõe os mesmos valores adotados nos Estados Unidos, enquanto que, para o Estado do Paraná é utilizado os valores recomendados pela norma espanhola (Tsutiya, 2001).

Quadro 1 – Concentrações máximas permissíveis de metais no bio sólido para uso agrícola (mg/kg) - base seca. Fonte: Tsutiya, 2001.

Subst. País	Arsênio	Cádmio	Cobalto	Cromo	Cobre	Mercúrio	Molibdênio	Níquel	Chumbo	Selênio	Zinco
Comunidade e Européia	-	20/40	-	-	1000/1750	16/25	-	300/400	750/1200	-	2500/4000
Bélgica	-	10	20	500	500	10	-	100	300	25	2000
Dinamarca	-	8	-	-	-	6	-	50	400	-	-
Inglaterra	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	-	-
Alemaha	-	20	-	1200	1200	25	-	200	1200	-	3000
França	-	20	-	2000	1000	10	-	200	800	100	3000
Grécia	-	40	-	-	1750	25	-	400	1200	-	4000
Itália	-	10	-	750	1000	10	-	200	500	-	3000
Holanda	10	5	-	500	600	5	-	100	500	-	2000
Finlândia	-	30	100	1000	3000	25	-	500	1200	-	5000
Noruega	-	10	20	200	1500	7	-	100	300	-	3000
Suécia	-	4	-	150	600	5	-	100	200	-	1500
Escócia	150	20	-	800	1000	7,5	25	250	800	40	2500
Suiça	-	30	100	1000	1000	10	20	200	1000	-	1000
Áustria	-	10	100	500	500	10	20	100	500	-	2000
Canadá	75	20	150	-	-	5	20	180	500	14	1850
Estados Unidos	75	85	-	-	4300	57	75	420	840	100	7500
Brasil	75	85	-	-	4300	57	75	420	840	100	7500

2.4.3 Metais Pesados em Solos Agrícolas - Concentração Máxima de Metais em Solos Agrícolas:

Os países da Comunidade Européia, como Alemanha, França, Inglaterra, Itália, Escócia, Áustria, Canadá, Espanha, Dinamarca, Finlândia, Noruega, Suécia, Nova Zelândia e Estados Unidos, recomendam as concentrações máximas permissíveis de metais em solos agrícolas para aplicação de bio sólidos. Existe uma grande divergência entre esses países, quanto ao tipo e concentrações máximas permissíveis de metais no solo. Os Estados Unidos é o país que permite as maiores concentrações de metais em solos agrícolas, exceto quanto ao chumbo, onde a Nova Zelândia e a Comunidade Européia admitem valores superiores aos americanos (Quadro 2). Os valores de teores de metais pesados em solos paulistas

e paranaenses, geralmente estão dentro dos intervalos dos solos europeus e americanos.

Apesar das grandes variações nas concentrações e metais pesados nos solos, em condições naturais, não tem sido observados danos às plantas e animais, devido ao fato de que, esses elementos são fortemente complexados por ácidos húmicos/matéria orgânica, o que reduz sua solubilidade no solo.

Quadro 2 – Concentrações máximas permissíveis de metais em solos agrícolas para aplicação de Biossólido (mg/ha). Fonte: Tsutiya, 2001.

Subst. País	Arsênio	Cádmio	Cobalto	Cromo	Cobre	Mercúrio	Molibdênio	Níquel	Chumbo	Selênio	Zinco
	Comunidade Européia	-	1/3	-	50/140	-	1/1,5	-	30/75	50/300	-
Alemanha	-	3	100	100	-	2	-	50	100	-	300
França	-	2	150	100	-	1	-	50	100	10	300
Inglaterra	20	3	600	135	500	1	4	75	250	3	300
Itália	-	3	150	100	-	-	-	50	100	-	300
Escócia	12	1,6	120	100	-	0,5	4	32	60	1,6	220
Áustria	-	3	100	100	-	2	-	50	100	-	300
Canadá (Ontário)	14	1,6	120	100	-	0,5	4	32	60	1,6	220
Espanha	-	1	100	50	-	1	-	30	50	-	150
Dinamarca	-	0,5	30	40	-	0,5	-	15	40	-	100
Finlândia	-	0,5	200	100	-	0,2	-	60	60	-	150
Noruega	-	1	100	50	-	1	-	30	50	-	150
Suécia	-	0,5	30	40	-	0,5	-	15	40	-	100
Nova Zelândia	-	3,5	600	140	-	1	-	35	300	-	300
Estados Unidos	-	20	1500	750	-	8	-	210	150	-	1400

Segundo Sharpley & Menzel (1987), de um modo geral, os produtos mais estudados e discutidos do ponto de vista de adição de metais pesados tóxicos ao solo têm sido o lodo de esgoto e os adubos fosfatados.

No Brasil, existem estudos sobre a contaminação de solos agrícolas por metais pesados, e também, os teores de metais nos insumos utilizados na agricultura. Os dados disponíveis referem aos fertilizantes utilizados nos Estados Unidos, Europa e Rússia, cujos materiais são intensamente utilizados na agricultura brasileira, principalmente o calcário e o adubo fosfatado (Tsutiya, 2001).

2.4.4 Absorção de Metais Pesados pelas Plantas:

São apresentados por alguns autores internacionais, dados sobre os teores de metais pesados em diferentes tipos de plantas, tais como, trigo, aveia, alface,

capim (*forrageirus*), citros, chá, girassol, espinafre, milho, pinheiros (*pinus*) e videira; sendo observado que os teores podem variar muito conforme as partes das plantas, espécies e estudo fisiológico. Pelos resultados obtidos, cada metal pesado é absorvido de modo diferente para cada cultura. É importante salientar que o consumo de plantas com elevados teores de metais pesados é uma fonte de contaminação para o homem. Os teores de metais pesados das plantas cultivadas em solos não contaminados, geralmente não causam problemas à saúde humana (Tsutiya, 2001).

2.5 O LODO DE ESGOTO E AS PLANTAS DE GIRASSOL

O uso de lodo de esgoto como fertilizante no cultivo de plantas ornamentais tem se apresentado como alternativa para sua reciclagem, uma vez que o mercado de flores vem alcançando grande destaque e importância para a economia nacional. Nesse mercado, o girassol ornamental (*Helianthus annuus L.*) tem sido apreciado no setor paisagístico, sendo muito utilizado como elemento de decoração em vasos e jardins. Sugere-se que o cultivo de girassol ornamental na presença de diferentes doses de lodo de esgoto possivelmente não acarrete prejuízos à capacidade produtiva da planta (Camilli *et al.*, 2007).

De acordo com Nascimento *et al.* (2004) são evidentes os resultados positivos apresentados por culturas como soja, trigo, milho, feijão e girassol, com a aplicação de lodo de esgoto.

Deschamps & Favaretto (1997) observaram em um dos seus ensaios com lodo de esgoto em girassol que este pode ser utilizado como fonte de adubação orgânica substituindo 100% a quantidade de N recomendada, sem prejuízos em termos de rendimento quando comparado a adubação mineral. Smiderle *et al.* (2002) observaram que as maiores produtividades de girassol foram obtidas na dosagem de N de 84 kg ha⁻¹ e que dosagens maiores prejudicaram a produção dos grãos. Castro *et al.* (1999) observaram que a produção de sementes de girassol aumentou até a dosagem de 90 kg ha⁻¹.

O N contido no lodo de esgoto poderá restringir a taxa de aplicação mais do que teores de metais pesados, devido a mineralização de sua carga orgânica e subsequente à lixiviação de nitrato (Oliveira, 2000), quando em doses acima de 50 t ha⁻¹ ano⁻¹, ou equivalente em N, acima de 300 kg⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹. A maioria dos

nutrientes do lodo está na forma orgânica, como é destacado por Munhoz (2001), apenas cerca de 30 a 50 % do N total esteja na forma prontamente aproveitável pelas plantas no primeiro ano.

O N é o nutriente que mais limita a produção de girassol. É nutriente essencial para o crescimento das plantas. O nitrogênio é transformado em composto orgânico se acumulando nas folhas e caules para depois ir para o grão e a semente. Uma boa nutrição nitrogenada promove um bom desenvolvimento foliar (vegetativo) antes da floração (reprodutivo) (Ordonez, 1990).

Quaggio e Úngaro (1997) indicam para o Estado de São Paulo (Brasil), a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N, sendo 10 kg ha⁻¹ no plantio e 40 kg ha⁻¹ em cobertura aos 30 dias de emergência. O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do lodo de esgoto como fonte alternativa de N, para a cultura do girassol em substituição ao N mineral, tendo em vista que além deste resíduo ser rico em N, ele se apresenta em grande quantidade no mundo, sendo melhor utilizar no solo em uma forma racional do que ser disposto diretamente nos aterros sanitários.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do complexo Biopráticas da Universidade Vila Velha - UVV, num esquema fatorial 8x2 constando de sete concentrações de lodo de esgoto (0; 1; 5; 15; 25; 50; 75 e 100%), duas condições experimentais (lodo de esgoto esterilizado e não-esterilizado) e cinco repetições por tratamento.

3.1. SUBSTRATO PARA O PLANTIO DAS SEMENTES DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)

Foram preparados dois diferentes substratos para o plantio das sementes de girassol. O primeiro foi composto por areia lavada e as diferentes concentrações de lodo de esgoto “*in natura*” e o segundo foi composto de areia lavada e as diferentes concentrações do lodo de esgoto previamente esterilizado em autoclave a 121° C durante 60 minutos.

3.2. ANÁLISE QUÍMICA DOS SUBSTRATOS APÓS ADIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Para análise de pH foram adicionados 25 mL de água a 10 g do substrato. As amostras foram agitadas com bastão de vidro e mantidas em repouso durante uma hora (Embrapa, 1997). Posteriormente, foi realizada a leitura em um potenciômetro DMPH-3 Digimed (previamente aferido com padrões de pH 4,0 e 7,0); a determinação do fósforo disponível nos substratos foi obtida com uma solução extratora Mehlich I (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N), e analisados por colorimetria. Para a determinação dos valores de Ca, K, Mg utilizou-se uma alíquota de 2,0 g de substrato onde misturou-se 20 mL de HCl 1 N e manteve-se a solução em repouso por 12 h (Allen *et al.*, 1993). Logo após os extratos foram filtrados (filtro Quanty, abertura 25 µm) e redissolvidos com HCl 1 N (volume final 20 mL). Os elementos foram determinados por Espectrofotometria de Absorção Atômica Convencional. Para a determinação de Ca e Mg, foi adicionada uma solução de lantânio a 10.000 ppm ao extrato. As concentrações dos elementos foram expressas em mg dm⁻³ (para P e K) ou cmol_c dm⁻³ (para Ca e Mg).

3.3. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)

Sementes de girassol (*Helianthus annuus* L. var. BRS 122 V2000) foram desinfestadas por meio de imersão em uma solução de NaClO (1,0%), por 30 minutos. Em seguida, as sementes foram colocadas em água destilada, por um período de seis horas após a lavagem. Logo após este período as sementes foram acondicionadas nos vasos (com volume de 05 litros) contendo os tratamentos (cinco sementes por vaso). Após 7, 14, 21, 30 e 50 dias de crescimento foram avaliados o comprimento médio das folhas; largura média das folhas, comprimento médio do caule, bem como o acúmulo de nutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na parte aérea das plantas de girassol.

Foi avaliada a altura média (cm) da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de lodo de esgoto “*in natura*” e esterilizado no substrato (DAP- Dias após o plantio).

3.4. CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES

As análises dos teores de nutrientes na parte aérea, (especificamente macronutrientes P, K, Ca e Mg) foram realizadas no laboratório da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda, Campos dos Goytacazes-RJ.

3.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para o preparo de dados e a obtenção de gráficos foi utilizada a planilha eletrônica Microsoft Excel 2010 for Windows. Os resultados foram analisados por meio de teste t-student ou análise de variância seguida de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5 ou 1% de probabilidade, utilizando o programa computacional SAEG - Sistema de Análise Estatística e Genética (Euclides, 1983).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITOS DO LODO DE ESGOTO NO CRESCIMENTO SOB DUAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS (LODO NÃO ESTERILIZADO (“IN NATURA”) E ESTERILIZADO)

Durante os 50 dias de experimento, verificou-se que a condição experimental contendo lodo não esterilizado (“*in natura*”) foi superior ao lodo esterilizado no que diz respeito ao crescimento vegetativo das plantas de girassol (Figura 1, Tabela 2).



Figura 1. Visualização do experimento com lodo “*in natura*” 50 dias após o plantio.

Como se pode observar nas Figuras 1 e 2 e na Tabela 2, houve um crescimento gradual das plantas nas doses de lodo de esgoto “*in natura*”, ou seja, o crescimento aumentou significativamente de acordo com o tempo de exposição nos tratamentos. As doses de 50 e 75%; 100% e 25 e 50% foram qualitativamente as que promoveram o maior comprimento das folhas, largura das folhas e altura do caule respectivamente (Figuras 1, 2; Tabela 2). Estes resultados contradizem aos observados por Deschamp & Favaretto (1997), onde os autores postularam que o cultivo de girassol em doses crescentes de lodo de esgoto não resultaria em

diferenças significativas em nenhuma destas características avaliadas. Por outro lado, Caldeira Júnior *et al.* (2005) trabalhando com *Azadirachta indica* A. Juss (Neem) obtiveram respostas lineares com o incremento nas doses de lodo de esgoto aplicadas, similar ao obtido neste estudo somente para o comprimento das folhas aos sete e quinze dias (Figura 3). Para todas as outras características avaliadas, em qualquer tempo de avaliação o comportamento do modelo ajustado foi polinomial de segunda ou terceira ordem (Figura 4 e 5). Esta interação entre os tratamentos com lodo de esgoto e crescimento é muito importante, pois a aplicação deste resíduo, além de fornecer nutrientes às plantas, melhora a estruturação das partículas do solo, favorecendo a infiltração de água, aumentando o desenvolvimento radicular, incrementando assim o crescimento vegetal (Andreoli *et al.*, 2001).

Tabela 2 - Altura média (cm) da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de lodo de esgoto “*in natura*” no substrato (DAP- Dias após o plantio).

	Doses de lodo de esgoto “ <i>in natura</i> ”								
	0%	1%	5%	15%	25%	50%	75%	100%	
	7	3,4 Ec	4,6 Eb	5,4 Db	4,4 Eb	6,2 Ea	4,5 Eb	4,5 Eb	4,7 Db
	14	4,1 De	6,9 Dd	8,4 Cb	7,6 Dc	10,3 Da	9,4 Dab	8,8 Db	10,1 Ca
DAP	21	7,1 Cf	10,2 Ce	14,4 Cd	18,1 Cc	24,8 Cb	30,9 Ca	30,9 Ca	27,5 Bb
	30	13,8 Be	12,8 Bd	20,8 Bc	28,3 Bb	38,4 Ba	39,7 Ba	36,8 Ba	31,3 Bb
	50	21,6 Af	30,2 Ae	38,9 Ad	50,3 Ac	70,3 Aa	66,4 Aa	59,8 Ab	41,0 Ad

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As médias com letras maiúsculas, numa mesma coluna, comparam as médias de um mesmo tratamento (Doses de lodo de esgoto “*in natura*”) em diferentes épocas (DAP). Médias com letras minúsculas, numa mesma linha, comparam médias entre os diferentes tratamentos, numa mesma época (DAP).

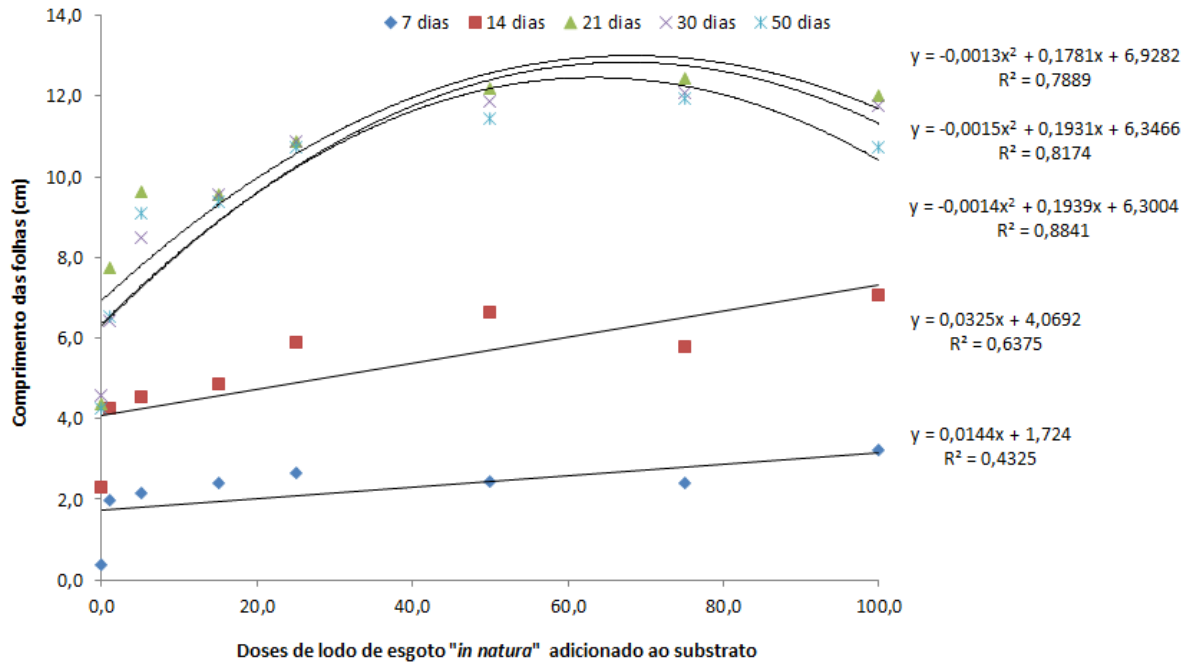


Figura 2. Comprimento das folhas com relação às doses de lodo de esgoto "in natura" e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos.

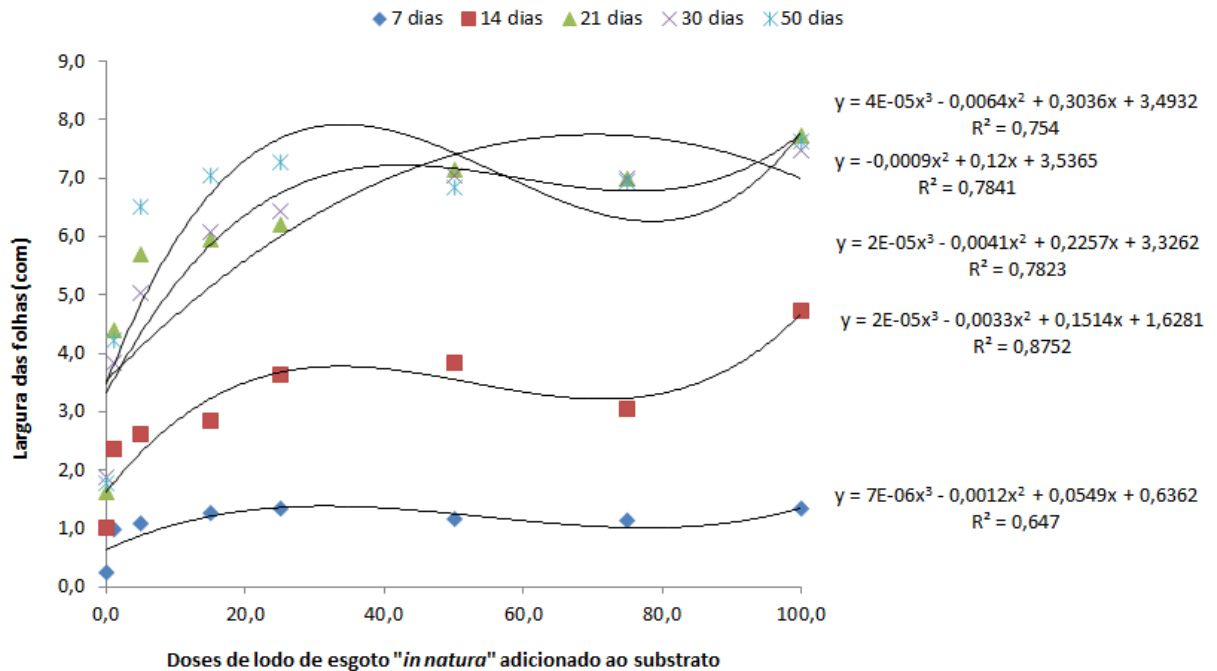


Figura 3. Largura das folhas com relação às doses de lodo de esgoto "in natura" e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos.

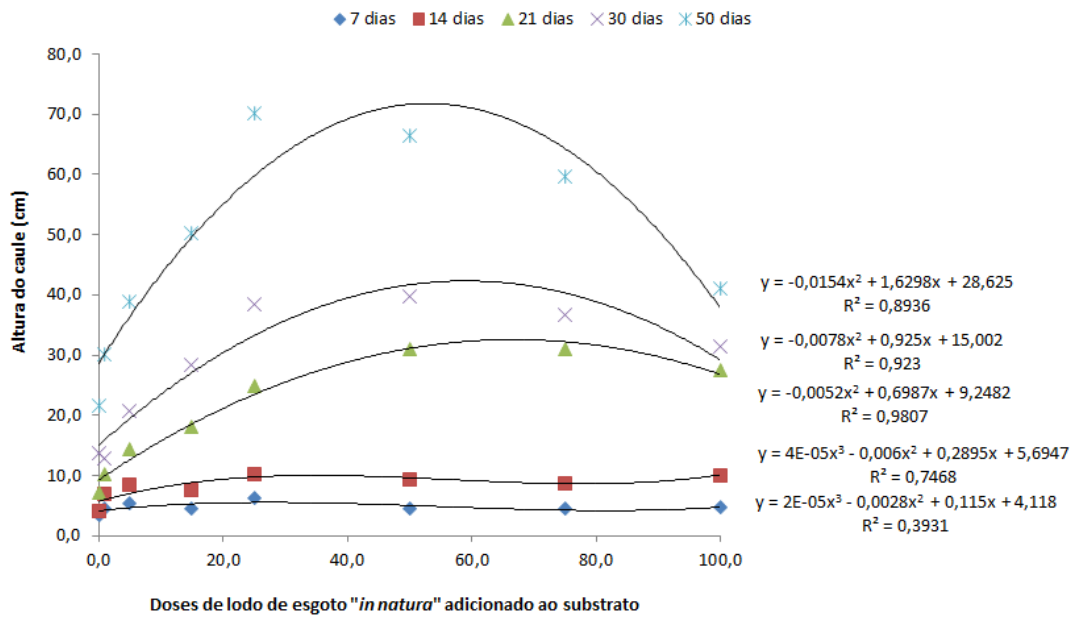


Figura 4. Altura do caule com relação às doses de lodo de esgoto "in natura" e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos.

Com relação ao lodo esterilizado, verificou-se um crescimento significativo ($P < 0,012$) na dose de 25% para o comprimento do caule, porém como se pode observar nas Figuras 8, 9 e 10 o crescimento não se manteve linear em nenhuma das características avaliadas, concluindo-se desta forma, para todas as características, que se pode obter uma dose ótima de crescimento a partir da integração das curvas de regressão (Dobbss *et al.*, 2010). Para o crescimento vegetativo como um todo, pode-se constatar qualitativamente através dos resultados que a dose de 25% lodo de esgoto foi a ideal para ambas as condições experimentais ("in natura" e esterilizado) (Figura 1 e 2; Tabela 2 e Figura 6 e 7; Tabela 3). Tomando-se os nossos resultados como ponto de partida é possível especular-se que a esterilização do lodo reduziu o seu efeito positivo no crescimento das plantas, devido à contribuição benéfica de alguns microrganismos presentes no resíduo orgânico avaliado. Estes resultados diferenciam-se dos encontrados por Deschamps & Favaretto (1997), que também utilizaram o girassol como modelo vegetal e Klock-Moore (1999) utilizando-se *Begonia boverii* e *Impatiens walleriana* todos cultivados em vaso, onde doses crescentes de lodo de esgoto esterilizado e não esterilizado, não foram capazes causar mudanças significativas na indução do crescimento vegetal. A forma de produção do lodo também pode ser um fato adicional no entendimento destes resultados.



Figura 5. Visualização do experimento com lodo esterilizado aos 50 dias após o plantio.

Tabela 3 - Altura média da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de lodo de esgoto esterilizado no substrato DAP (Dias após o plantio).

	Doses de lodo de esgoto esterilizado								
	0%	1%	5%	15%	25%	50%	75%	100%	
DAP	7	3,4 Ed	4,7 Dc	5,9 Da	5,8 Da	5,9 Da	5,2 Db	3,5 Dd	4,4 Dc
	14	4,1 Dbc	5,1 Db	6,5 Da	6,5 Da	6,5 Da	6,0 Da	3,7 Dc	4,6 Db
	21	7,1 Ce	11,9 Cc	17,9 Cb	19,0 Ca	19,9 Ca	19,4 Ca	9,0 Ccd	10,7 Cc
	30	13,8 Bf	23,3 Be	29,1 Bcd	33,5 Bc	39,5 Bb	32,9 Bc	28,4 Bd	26,3 Bd
	50	21,6 Ae	35,3 Ac	44,2 Ab	46,4 Ab	54,2 Aa	45,8 Ab	34,6 Ac	30,1 Bd

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As médias com letras maiúsculas, numa mesma coluna, comparam as médias de um mesmo tratamento (Doses de lodo de esgoto esterilizado) em diferentes épocas (DAP). Médias com letras minúsculas, numa mesma linha, comparam médias entre os diferentes tratamentos, numa mesma época (DAP).

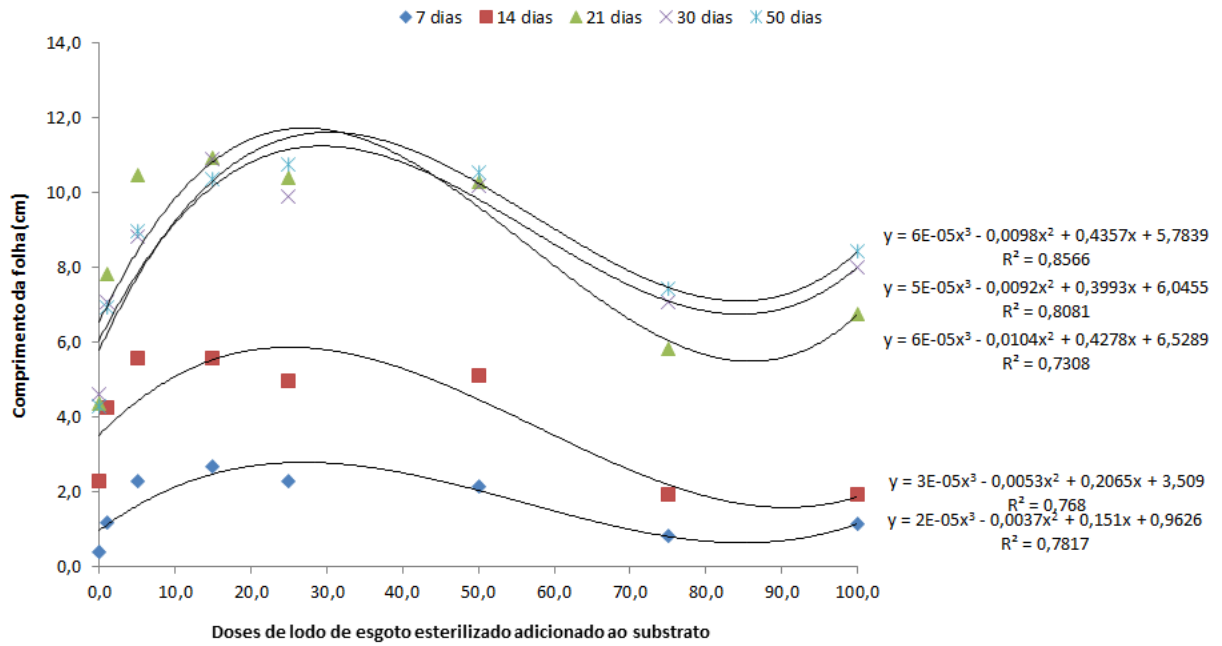


Figura 6. Comprimento das folhas com relação às doses de lodo de esgoto esterilizado e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos.

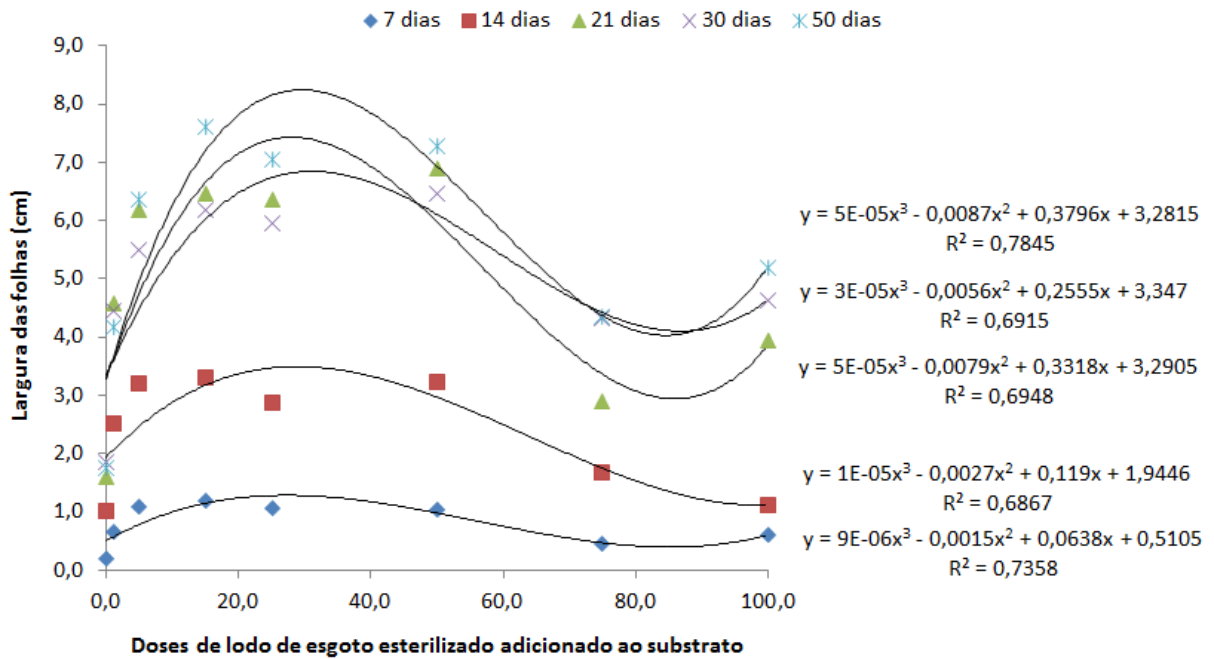


Figura 7. Largura das folhas com relação às doses de lodo de esgoto esterilizado e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos.

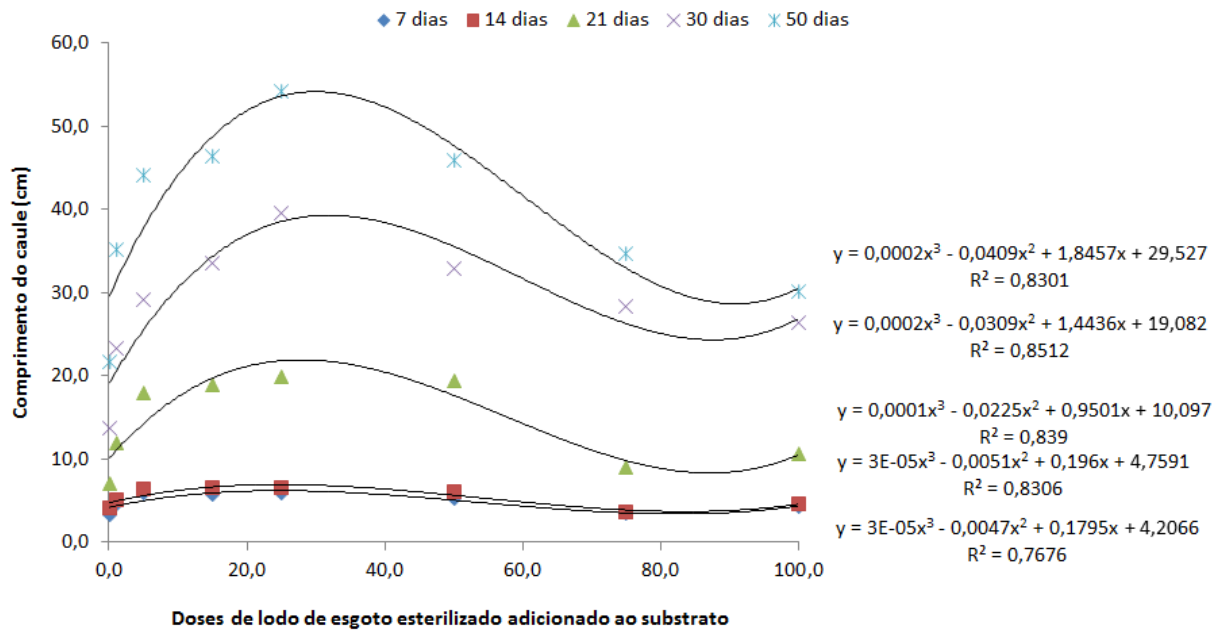


Figura 8. Altura do caule com relação às doses de lodo de esgoto esterilizado e o tempo de exposição das plantas aos tratamentos.

Conforme pode ser observado na Tabela 4, pequenas doses de lodo de esgoto não foram capazes de promover crescimento das plantas significativamente diferentes entre as duas condições experimentais. A partir da dose de 15% de lodo de esgoto adicionado ao substrato foram observadas diferenças significativas a 5% e a 1% de significância entre os tratamentos. Uma vez que em função da já aprovação de macro regulatório para o setor de saneamento e de legislações vigentes, há uma perspectiva de os números de estações de tratamento de esgoto aumentarem no país, o que implica em maior oferta e possibilidade de uso de lodo para fins agrícolas (Silva *et al.*, 2008), a partir desta consideração e considerando que o resíduo estudado não recebe contribuição de águas residuárias de indústrias, há portanto, uma menor chance do resíduo utilizado neste estudo conter grande quantidade de poluentes, notadamente metais pesados, sendo portanto possível, a partir de nossos resultados, obtidos em casa de vegetação, a utilização deste resíduo “*in natura*” após avaliação e sua qualidade, evitando-se assim, possíveis contaminações do solo, plantas e animais.

Após a análise de viabilidade de se estender o uso do resíduo estudado em larga escala (em nível de campo), no caso de não ser possível ou recomendável o seu aproveitamento “*in natura*” técnicas de manejo, tal como a compostagem, poderão ser utilizadas com o fim de proporcionar transformações vantajosas em

suas características químicas e físicas. Com relação às características biológicas, pressupõem-se a determinação de carga de patógenos e de outros microrganismos associados ao resíduo orgânico estudado, como fungos, bactérias fixadoras de N, proporção de organismos aeróbios e anaeróbios, diversidade microbiana, etc (Abreu Júnior *et al.*, 2005). Com relação a esse estudo, pelo menos em parte, alguns destes microrganismos supracitados contribuíram positivamente para o crescimento e desenvolvimento vegetal, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise comparativa do crescimento das plantas de girassol aos 50 dias após o plantio, submetidas ao Test t-student ao nível de 1% (**) e 5% (*) de probabilidade.

Condições experimentais	Doses de lodo de esgoto							
	0%	1%	5%	15%	25%	50%	75%	100%
<i>“in natura”</i>	21,6 ^{n.s.}	30,2 ^{n.s.}	38,9 ^{n.s.}	50,3*	70,3**	66,4**	59,8**	41,0**
esterilizado	21,5	35,3	44,2	46,4	54,2	45,8	34,6	30,1

n.s. = diferença não significativa entre os tratamentos *“in natura”* e esterilizado.

4.2 VARIAÇÃO DE PH NO SUBSTRATO COM LODO DE ESGOTO

Os valores de pH das condições experimentais apresentaram decréscimos significativos com o aumento das doses de lodo de esgoto utilizadas (Figura 11), no entanto, mesmo com a aplicação da dose máxima (100%) o pH do substrato permaneceu em valores entre 4 a 6. Melo & Marques (2000), relatam efeito oposto, ou seja, a eficiência do lodo em neutralizar o pH do solo, porém, como neste experimento utilizou-se areia lavada como substrato é bem possível que o poder neutralizador deste resíduo tenha sido subestimado, já que em um substrato arenoso há uma maior perda de substâncias por lixiviação devido a sua granulometria grossa. Segundo Fernandes (2000), no processo de tratamento do lodo de esgoto são utilizados cal virgem (CaO) ou cal hidratada (Ca(OH)₂), com objetivo de eliminar patógenos e estabilizar o resíduo, conferindo valores de pH elevados em sua fase final.

Segundo Kiehl (1979), as plantas têm dificuldades de sobreviver em solos com valores de pH inferiores a 4,0 e superiores a 9,0, sendo que a maioria delas se desenvolvem melhor na faixa de pH de 6,0 a 7,0. A aplicação do lodo no solo

provoca uma diminuição inicial de pH, especialmente nos seis primeiros meses, em razão da formação de ácidos orgânicos, que após a sua estabilização com compostos químicos presentes no solo, promovem um aumento do pH. Contudo, devemos levar em conta os diferentes processos de produção do lodo que interferem significativamente na acidez ou alcalinidade do mesmo (Silva *et al.*, 2008).

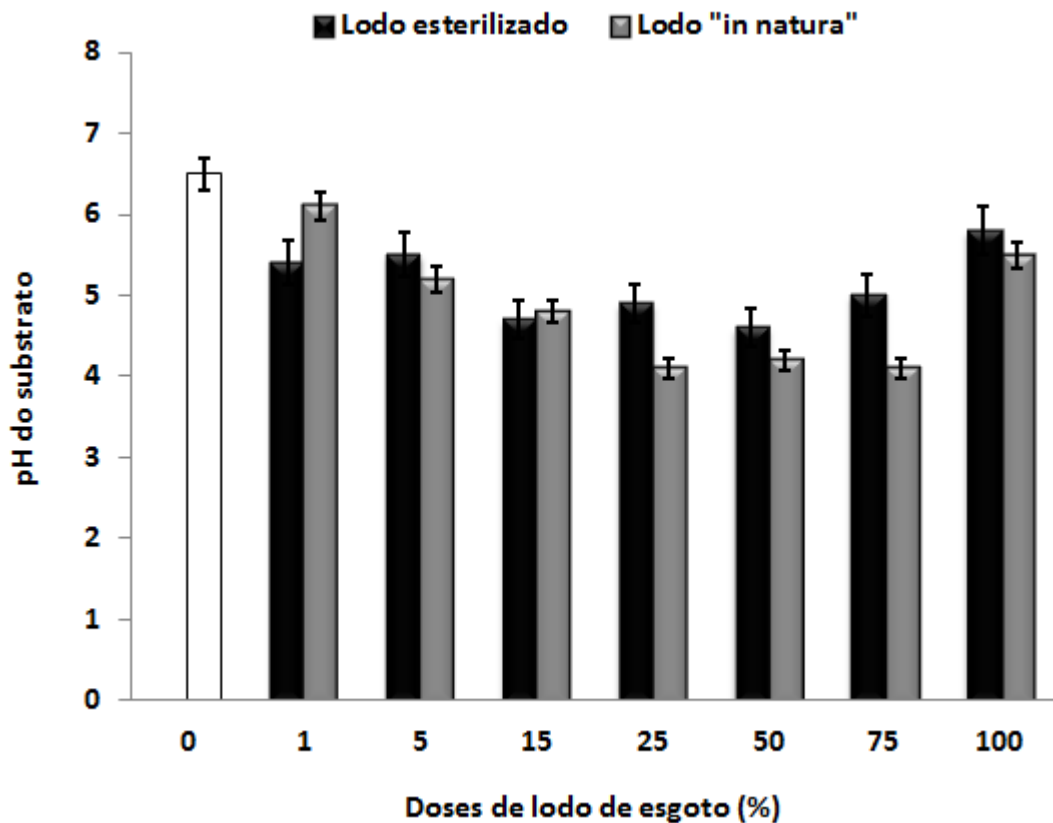


Figura 9. pH do substrato após 50 dias de crescimento de plantas de girassol em diferentes doses de lodo de esgoto "in natura" e esterilizado.

4.3. INTERAÇÕES ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NO SUBSTRATO COM LODO DE ESGOTO

Analisando os resultados da concentração de nutrientes no substrato, observa-se que os teores de fósforo aumentaram de maneira progressiva em função das doses de lodo de esgoto nas duas condições experimentais (Figura 12 A). Tal sentença fornece evidências de que com o fornecimento deste resíduo orgânico ao sistema substrato-planta a concentração de P disponível aumenta principalmente na dose de maior concentração do material orgânico (tanto "in natura" quanto

esterilizado) (100%). Em relação ao fósforo segundo Melo & Marques (2000), existem trabalhos que levantam dúvidas sobre o potencial do lodo em aumentar sua disponibilidade no solo, mas a maioria das publicações aponta para expressiva contribuição do lodo de esgoto em relação ao fósforo disponível. Neste estudo o lodo de esgoto utilizado possui elevada concentração deste nutriente conforme pode ser observado na Figura 12 A. Segundo Berton *et al.* (1989), a pronta disponibilidade do fósforo contido no lodo de esgoto se deve ao fato da baixa relação Carbono/Fósforo e do nutriente (P) estar predominantemente na forma mineral.

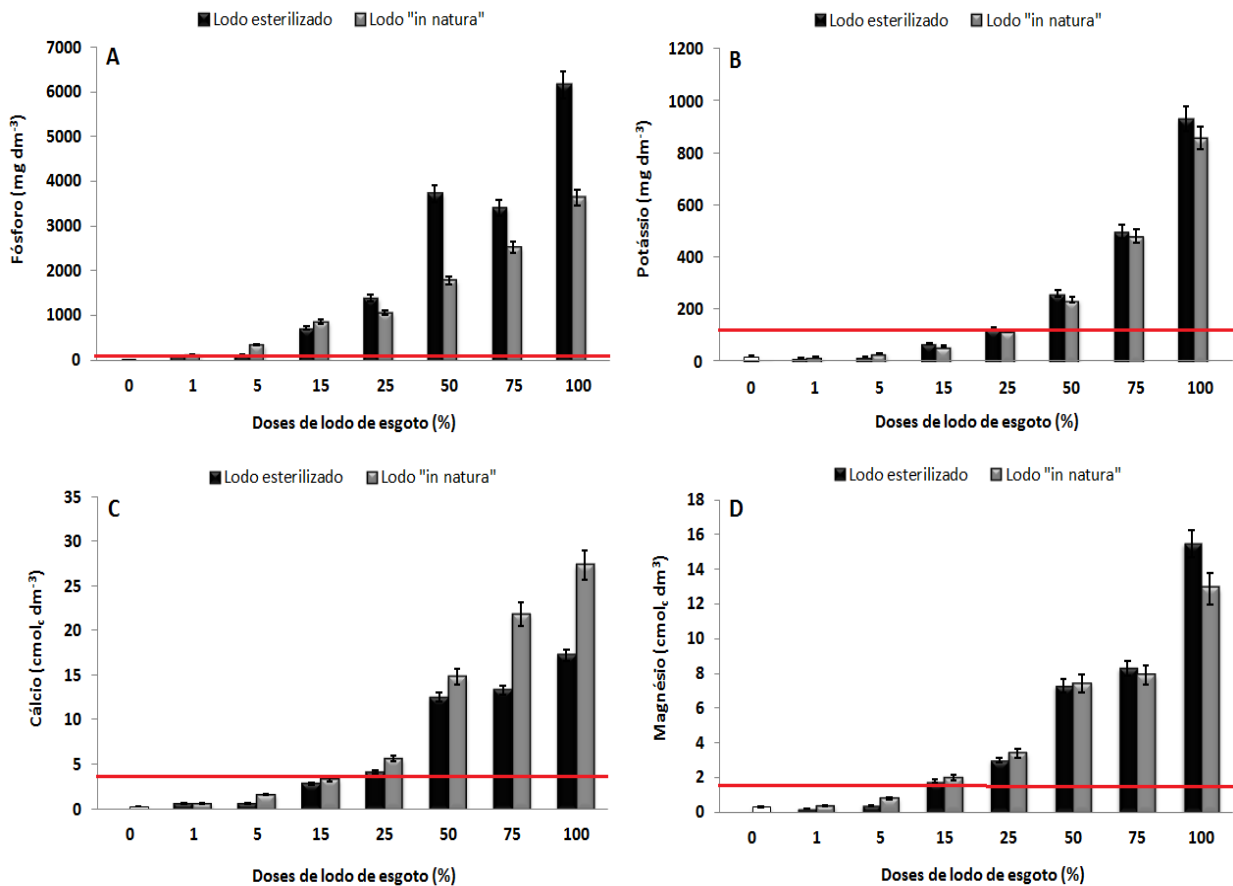


Figura 10. Teores de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) nas amostras de substrato, em razão da adição de lodo de esgoto, após 50 dias de experimento. As linhas vermelhas representam os valores referenciais para a cultura do girassol, segundo o Manual de Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes de Minas Gerais, 5^a Aproximação (UFV, 1999).

Com relação ao potássio (Figura 12 B), segundo Andreoli (1999), de modo geral, o lodo de esgoto é pobre neste nutriente, não suprimindo as necessidades das plantas. Vários autores têm recomendado a complementação do potássio quando da utilização de diferentes fontes de lodo de esgoto, de modo a evitar reflexos negativos na produtividade. No entanto, com relação aos nossos resultados, pode-se observar na Figura 12 B que a partir da dose de 50% de lodo (tanto “*in natura*”

quanto esterilizado) os valores de potássio (K) encontrados estão acima dos valores referenciais para a cultura do girassol.

Teores significativos de cálcio e magnésio são encontrados principalmente em lodos de esgoto de origens residencial e industrial, conforme constatado por Guerrini & Trigueiro (2004), estudando o comportamento de tais resíduos com relação ao fornecimento de nutrientes a plântulas de *Eucalyptus grandis*. Assim como neste trabalho (Figura 12 C e D), Deschamps & Favaretto (1997) observaram que os teores de Ca e Mg do solo aumentam em função de doses crescentes de lodo de esgoto, no entanto no trabalho de tais autores, paralelamente ao lodo, foram utilizadas fontes extras de nutrientes como complemento mineral.

4.4. CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS

Após a análise dos nutrientes na parte aérea das plantas de *Helianthus annuus L.* pode-se observar que para o macronutriente fósforo, o efeito das doses de lodo de esgoto proporcionou o favorecimento de sua absorção pelas plantas de girassol. O maior valor de P observado foi obtido quando da aplicação de 50% de lodo esterilizado, sendo este superior às obtidas com as demais doses / condição experimental (Figura 13 A). Em termos médios, as doses de lodo de esgoto proporcionaram quantidades de absorção de fósforo pelas plantas distintas entre si. De acordo com Oliveira *et al.* (1995), esse comportamento vai de encontro às afirmações de Ayuso *et al.* (1992), onde pressupõem que a maior absorção desse elemento pelas plantas está em decorrência de sua presença, em quantidades satisfatórias, no resíduo orgânico. Contudo, outros autores como Carvalho & Barral (1981) salientaram que esta maior disponibilidade é função não só da pura e simples presença no lodo, mas também decorrente dos efeitos da matéria orgânica nas propriedades químicas do solo.

Os menores teores de potássio nas plantas desenvolvidas nos substratos que contiveram as doses de lodo de esgoto até 50% (Figura 13 B), devem-se ao fato de que há menor disponibilidade desse nutriente no lodo. Nas doses de 75 e 100% as concentrações de tal nutriente estão acima dos valores adequados para a cultura do girassol. Segundo os estudos de Oliveira *et al.* (1995), o lodo de esgoto possui baixa concentração de potássio, em razão da sua alta solubilidade em água, sendo necessária a complementação com adubação química.

De acordo com a Figura 13 C e D que dizem respeito às concentrações de cálcio e magnésio, há um decréscimo da concentração destes nutrientes na parte aérea das plantas de girassol com relação às diferentes concentrações de lodo de esgoto. Os maiores decréscimos relativos foram observados para cálcio (Figura 13 C) e os menores para magnésio (Figura 13 D). De acordo com Melo & Marques (2000), pode-se afirmar que há vários trabalhos demonstrando que a adição de lodo aumenta a concentração de magnésio nas folhas de diversas culturas, como exemplo a cana de açúcar, milho e sorgo. Simonete *et al.* (2003) estudando as quantidades de cálcio e magnésio acumuladas por plantas de milho, observaram incrementos significativos com a aplicação de diferentes doses deste resíduo sólido orgânico. Segundo Malavolta *et al.* (1997), elevadas concentrações de potássio na solução do solo podem inibir competitivamente a absorção de cálcio e, principalmente, a de magnésio pelas raízes das plantas.

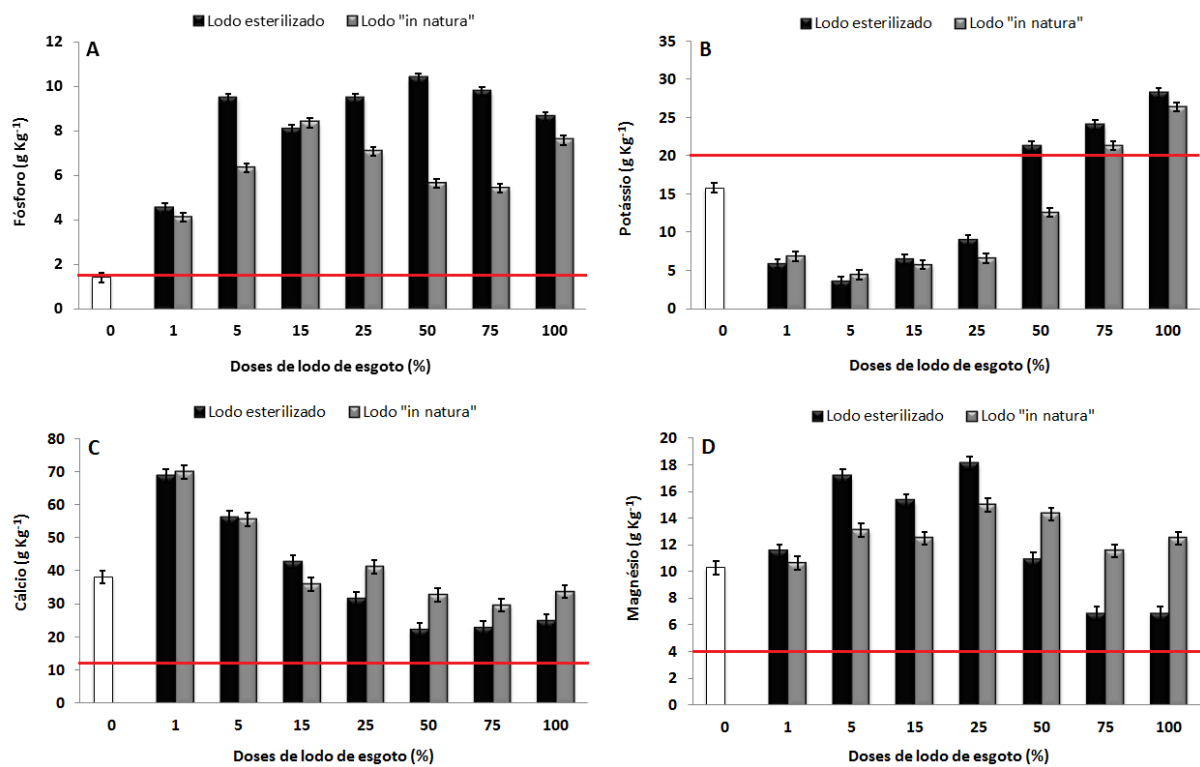


Figura 11. Teores de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) na parte aérea das plantas de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. As linhas vermelhas representam os valores considerados ideais para a cultura do girassol, segundo o Manual de recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação (UFV, 1999).

5. CONCLUSÕES

As evidências experimentais obtidas nesse estudo permitiram estabelecer que o lodo de esgoto por suas características químicas e facilidade de produção, é um bom substrato orgânico para o crescimento e desenvolvimento de plantas de girassol (*Helianthus annuus L.*). A partir dos resultados as principais conclusões que puderam ser obtidas foram:

- Incrementos significativos na altura das plantas (comprimento do caule), no comprimento das folhas e na largura das folhas de girassol (*Helianthus annuus L.*) com a aplicação das diferentes doses de lodo de esgoto (“*in natura*” e esterilizado);
- Todos os tratamentos promoveram mudanças no que se diz respeito à acumulação de nutrientes pelas plantas de girassol;
- A esterilização do lodo reduziu o efeito positivo no crescimento das plantas sugerindo que existe a participação positiva de microrganismos agindo na bioestimulação das plantas;
- As condições experimentais utilizando lodo de esgoto “*in natura*” nas doses de 25 e 50% apresentaram os melhores resultados do ponto de vista morfológico e nutricional;
- A participação do lodo de esgoto como um dos componentes do substrato para germinação e cultivo de plantas *Helianthus annuus L.* mostrou-se uma opção viável para sua produção, principalmente devido ao aporte significativo de nutrientes e matéria orgânica conferida neste resíduo sólido orgânico. A um custo relativamente reduzido, tal procedimento pode ser uma alternativa para a disposição final do resíduo e constitui uma ferramenta útil que poderá ser utilizada tanto por instituições públicas quanto privadas, na arborização urbana e na recuperação de áreas degradadas.

6. REFERÊNCIAS

Para o registro das referências foi adotado o padrão da Revista Científica CERES, editada pela Universidade Federal de Viçosa (CNPJ: 25.944.455.0001/96), destinada à publicação de trabalhos científicos sobre temas originais de pesquisa nas áreas de produção e biotecnologia vegetal, medicina veterinária, zootecnia, ciência e tecnologia de alimentos, economia e extensão rural, engenharia agrícola e engenharia florestal. Destinada a pesquisadores, professores, alunos de graduação e pós-graduação e demais profissionais das áreas de Ciências Agrárias e Biológicas, tem como missão publicar artigos científicos de interesse da comunidade científica ligada a Ciências Agrárias e Biológicas.

Abreu Júnior CH; Boaretto AE; Muraoka T & Kiehl JC (2005) Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: Propriedades químicas do solo e produção vegetal. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 4:391-470.

Allison FE (1973) Soil organic matter and its role in crop production. London, Elsevier Scientific Publishing Co., 637 p.

Almeida GCA, Fanhani JC & D'Oliveira PS (2005) Utilização de lodo de esgoto como componente de substrato para o cultivo de Vinca (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don). Cesumar, 7:41-48.

Altieri MA & Masera O (1998) Desenvolvimento rural sustentável na América Latina: construindo de baixo para cima. In: Almeida, A & Navarro, Z (org.) Reconstruindo a agricultura: ideias e ideais na perspectiva de um desenvolvimento rural sustentável. 2ª ed. Porto Alegre, UFRGS. p. 72-105.

Altieri MA (2001) Agroecologia, a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 3. ed. Porto Alegre, UFRGS. 110p. (Síntese Universitária, 54).

Alvarez VHV, Novais RF, Barros NF, Canturatti RB & Lopes AS (1999) Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG & Alvarez VHV (eds.) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. p.25-32.

Alves WL (1998) Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano. 2ª ed. Jaboticabal, FUNEP. 53p.

Andreoli CV, Fernandes F, Lara AI, Bonet B & Domazak SCA (1997) Reciclagem agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná. in: Workshop Sul-Americano Sobre Usos Alternativos de Resíduos de Origem Florestal e Urbana, Curitiba. Anais, EMBRAPA/CNPQ/IBAMA/Universidade Federal do Paraná. p.83-104.

Andreoli CV & Pegorini ES (1998) Gestão de biossólidos: situação e perspectiva. In: Seminário Sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul 1, Curitiba. Anais, Sanepar/ABES. p.11-18.

Andreoli CV & Pegorini ES (2000) Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: Bettiol W & Camargo OA Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente. p.281-312.

Andreoli CV (1999) Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 278p.

Andreoli CV, Von Sperling M & Fernandes F (2001) Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. Belo Horizonte, DESA-UFMG, 483p.

Araújo FF, Gil FC & Tiritan CS (2009) Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. Pesquisa Agropecuária Tropical, 39:1-6.

Ayuso M, Hernandez T, Garcia C & Costa F (1992) Utilización de un lodo aerobio como substitutivo de fertilizantes fosforados inorgánicos. Suelo y Planta, 2:271-280.

Barbieri JC (1997) Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudança na Agenda 21. Petrópolis, Vozes, 156p.

Barbieri JC (2007) Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. 2ª ed. São Paulo, Saraiva, 382p.

Barbosa GMC, Tavares FJ & Fonseca ICB (2004) Condutividade hidráulica saturada e não saturada de Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência de Solo, 28:403- 407.

Barros DAS, Peixoto JS, Nascimento CWA & Melo EEC (2002) Conteúdo de nitrogênio e produção de biomassa em milho e feijoeiro em solos submetidos a doses de lodo de esgoto. In: FERTBIO, 3., Rio de Janeiro. Resumos, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.

Beckett PHT (1991) Critical tissue concentrations as indicators of toxicity. Bogota, Suelos Ecuatoriales, 39p.

Berton RS, Camargo OA & Valadares JMAS (1989) Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 13:187-192.

Bertoncini EI & Mattiazzi ME (1999) Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 23:737-744.

Bettiol W & Camargo OA de (2006) Lodo de Esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente. 349p.

Bonilla JA (1992) Fundamentos da agricultura ecológica: sobrevivência e qualidade de vida. São Paulo, Nobel. 259p.

Borkert CM, Gaudêncio CA, Pereira JE, Pereira LR & Oliveira Júnior A de (2003) Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:143-153.

Brito LR de & D'Oliveira PS (2010) Uso de resíduos sólidos urbanos na produção de flores e plantas ornamentais. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, 3:67-77.

Brown S, Angle JS & Chaney RL (1997) Correction of limed biosolid induced manganese deficiency on a long term Field experiment. *J. Environ. Qual.*, 26:1375-1384.

Burg IC & Mayer PH (1999) Alternativas ecológicas para prevenção e controle de pragas e doenças. Francisco Beltrão, Grafite. 154p.

Caldeira Júnior CF, Souza RA, Souza GM, Araújo AV, Sapaio RA & Martins ER (2005) Avaliação de crescimento do Nim indiano (*Azadirachta indica A. Juss*) adubado com lodo de esgoto em solo degradado. In: 56º. Congresso Nacional de Botânica, Curitiba. Anais, Sociedade Botânica do Brasil, CD-ROM.

Camilli L, Ikejiri L, Klein J, Rodrigues JD & Boaro CSF (2007) Produtividade e estimativas da eficiência de carboxilação in vivo da enzima rubisco em girassol ornamental cultivado em lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Biociências*, 5:858-860.

Canellas LP, Santos GA, Moraes AA, Rumjanek VM & Olivares FL (2000) Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos de origem urbana: I. Métodos espectroscópicos (UV-Vis, IV, RMN 13C-CP/MAS) e microscopia eletrônica de varredura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:741-750.

Canellas LP, Santos GA, Rumjanek VM, Moraes AA & Guridi F (2001) Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. *Pesq. agropec. bras.*, 36:1529-1538.

Carson RL (1969) *Primavera Silenciosa*. São Paulo, Gaia. 327p.

Carvalho PCT & Barral MF (1981) Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. *Fertilizantes*, 2:1-4.

Castro C de, Balla A, Castiglioni VBR & Sfredo GJ (1999) Doses e métodos de aplicação de nitrogênio em girassol. *Scientia Agrícola*, 56:827-833.

Cavallaro N, Padilla N & Villarrubia J (1993) Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. *Soil Sci.*, 156:63-70.

Ceretta CA, Durigon R, Basso CJ, Barcellos LAR & Vieira FCB (2003) Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:729-735.

Chang AC, Hinesly TD, Bates TE, Doner HE, Dowdy RH & Ryan JA (1987) Effect of long-term sludge application on accumulation of trace elements by crops. In: Page AL, Logan TG & Ryan JA (Eds.) *Land application of sludge*. Celsea: Lewis Publishers. p.53-66.

Chaboussou F (1987) Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose. Porto Alegre, L&PM. 256p.

Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR (1997) Manual Técnico para Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto no Paraná. Curitiba, 96p.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2006) Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. 167:141-146.

Corrêa RS, White RE & Weatherley AJ (2005) Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. *Sci. Agricola*, 62:274-280.

Coscione AR, Nogueira TAR & Pires AMM (2010) Uso agrícola do lodo de esgoto: Avaliação após a Resolução Nº 375 do CONAMA. 01:377-407.

D'Oliveira PS (2006) Uso agrícola de biossólidos. In: Brito LR de & D'Oliveira PS *Uso de Resíduos Sólidos Urbanos na Produção de Flores e Plantas Ornamentais*. Revista em Agornegocioe Meio Ambiente, 3:67-77.

D'Oliveira PS (2003) Uso de lodo de esgoto submetido a diferentes processos de redução de patógenos na produção de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação Produção Vegetal da UEM, Maringá, 158p.

Damasceno S & Campos JR (1998) Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola. Disponível em: <<http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/peru/bratar035.pdf>>. Acessado em: 23 de março de 2012.

Deschamps C & Nerilde F (1997) Efeito do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura de feijoeiro e do girassol. *Revista Técnica da Sanepar*, 8:33–38.

Dick DP, Gomes J & Rosinha PB (1998) Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 32:603-611.

Dobbss LB, Silva AC, Canellas LP, Olivares FL, Aguiar NO, Frade DAR, Rezende CE & Peres LEP (2011) Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 35:1609-1617.

Ehlers E (1996) *Agricultura Sustentável: Origens e perspectivas de um novo paradigma*. São Paulo, Livros da Terra. 178p.

Euclides RF (1983) Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas). Viçosa, UFV. 59p.

Façanha AR, Façanha ALO, Olivares FL, Guridi F, Santos GA, Velloso ACX, Rumjanek VM, Schripsema J, Filho RB, Oliveira MA & Canellas LP (2002) Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a

bomba de prótons da membrana plasmática. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37:1301-1310.

Fernandes F (2000) Estabilização e higienização de biossólidos. In: Bettiol W & Camargo OA (Eds) Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna - SP, EMBRAPA Meio Ambiente. p. 45-67.

Fenandes F & Andreoli CV (1997) Manual técnico para utilização de lodo de esgoto no Paraná. Curitiba, SANEPAR. 96p.

Galleli G, Okseanberg L & Pugsley S (2007) Lodo de esgoto pode beneficiar agricultores do Norte do PR. Disponível em: <<http://www.aenoticias.pr.gov.br/modules/news/article>>. Acessado em: 16 de março de 2012.

Gabazo G, Pesant AR, Barnett GM, Charuestand JP & Cluis D (1995) Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of hog manure and mineral fertilizers. Journal of Environmental Quality, 24:420-425.

Giannetti BF, Almeida BF & Almeida CMVB (2006) Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações. São Paulo, Edgard Blücher. p.109.

Goldstein N, Riggle D & Steuteville R (1992) "Sludge composting maintains growth". BioCycle, 33:49-56.

Guerini IA & Trigueiro RM (2004) Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:1069-1076.

Hue NV (1995) Sewage sludge. In: Rechcigl JE (Ed) Soil amendments and environmental quality. Boca Raton: CRC Press, p.199-168.

Ikejiri L, Camilli L, Klein J, Rodrigues JD & Boaro CSF (2007) Avaliação da limitação estomática e mesofílica da assimilação de CO² em girassol ornamental cultivado com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, 5:855-857.

Jin B, Wilen BM & Lant P (2003) A comprehensive insight into floc characteristics and their impact on compressibility and settleability of activated sludge. Chem. Eng. Journal, 95:221-234.

Kiehl JC (1979) Manual de edafologia. São Paulo, Agronômica Ceres. 264p.

Klock-Moore KA (1999) Bedding plant growth in greenhouse waste and biosolid compost. HortTechnology, 9:210-213.

La Rovere EL (2002) Manual de auditoria ambiental para estações de tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro, Qualitymark. 151p.

Lamy I, Bourgeois S & Bermond A (1993) Soil cadmium mobility as a consequence of sewage disposal. J. Environ. Qual., 22:731-737.

Lopes JC, Ribeiro LG, Araújo MG & Beraldo MRBS (2005) Produção de alface com doses de lodo de esgoto. *Horticultura Brasileira*, 23:143-147.

Malavolta E, Vitti GC & Oliveira SA (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba, Potafos. 319p.

Marx DH, Berry CR & Kormanik PP (1995) Application of municipal sewage sludge in forest and degraded land. In: Symposium Sponsored by Divisions S-6 and S-7 of The Soil Science Society of America and A-5 of the American Society of Agronomy. Agricultural utilization of urban and industrial by-products: proceedings. Madison. American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America. p.275-295.

Meirelles L (1997) Produção e comercialização de Hortaliças orgânicas. *Horticultura Brasileira*, 1:205-210.

Mello SC & Vitti GC (2002) Desenvolvimento do tomateiro e modificações nas propriedades químicas do solo em função da aplicação de resíduos orgânicos, sob cultivo protegido. *Horticultura Brasileira*, 20:200-206.

Melo VP; Beutler AN; Souza ZM; Centurion JF & Melo WJ (2004) Atributos físicos de latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:67-72.

Melo WJ & Marques MO (2000) Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: Bettiol W & Camargo OA (Eds.) Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente. p. 45-67.

Melo WJ, Marques MO, Melo VP (2002) O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: Tsutiya MT, Comparini JB, Alem Sobrinho P, Hespanhol I, Carvalho PCT, Melfi AJ, Melo WJ & Marques MO. Biossólidos na agricultura. *SABESP*, 11:289-363.

Melo WJ, Marques MO, Santiago G & Chelli RA (1994) Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:449-455.

Melo WJ, Marques MO, Silva FC & Boaretto AE (1997) Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, Rio de Janeiro. Palestras. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.

Mendes JTG & Padilha Junior JB (2007) Agronegócio: uma abordagem econômica. São Paulo, Pearson Prentice Hall. p.369.

Metzger L & Yaron B (1987) Influence of sludge organic matter on soil physical properties. *Adv. Soil Sci.*, 7:141-163.

Miklos AAW (1998) Agroecologia: base para o desenvolvimento da biotecnologia agrícola e da agricultura. In: Conferência Brasileira de Agricultura Biodinâmica - A agroecologia em perspectiva, Piracicaba. Anais, SMA/CED. p.18-21.

Moral R, Moreno-Caselles J, Perrez-Murcia MD, Perez-Espinosa A, Rufete B & Paredes C (2005) Characterization of the organic matter pool in manures. *Biores. Technol.*, 96:153-158.

Munhoz RO (2001) Disponibilidade de fósforo para o milho em solo que recebeu lodo de esgoto. Dissertação de Mestrado. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 74p.

Nascimento CWA, Barros DAS, Melo EEC, Oliveira AB (2004) Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 28:385-392.

Neves MCP, Medeiros CAB, Almeida DL de, De-Polli H, Rodrigues HR, Guerra JGM, Nunes MUC, Cardoso MO, Ricci MS dos F & Saminêz TCO (2000) Agricultura Orgânica: Instrumento para a sustentabilidade dos sistemas de produção e valorização de produtos agropecuários. Seropédica, EMBRAPA Documentos n. 122, p.21.

Neves MF (2007) Agronegócios e desenvolvimento sustentável: uma agenda para a liderança mundial na produção de alimentos e bioenergia. São Paulo, Atlas. 215p.

Odalía-Rimoli A, Arruda E, Rimoli J, Bueno Norlene & Costa Reginaldo (2000) Biodiversidade, Biotecnologia e Conservação Genética em Desenvolvimento Local. *Interações*, 1:21-30.

Oliveira FC (2000) Disposição de resíduos orgânico e composto de lixo urbano num latossolo vermelho amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 247p.

Oliveira, FC, Marques MO, Bellingieri, D & Perecin D (1995) Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Scientia Agricola*, 52:360-367.

Oliveira FC, Matiazzo ME, Marciano CR & Rosseto R (2002) Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 26:505-519.

Ordóñez AA (1990) El cultivo Del girasol. Madrid, Ediciones Mundi – Prensas. 158p.

Ormond JGP, De Paula SRL, Filho PF & Da Rocha LTM (2002) Agricultura orgânica: quando o passado é futuro. *BNDES Setorial*, 15:3-34.

Pedrosa JP, Beltrão NE de M, Haandel AC van & Gouveia JPG (2005) Doses crescentes de biossólidos e seus efeitos na produção e componentes do algodoeiro herbáceo. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 5:2-5.

Pegorini ES, Andreoli CV, Souza ML & Ferreira A (2003) Qualidade do lodo de esgoto utilizado na reciclagem agrícola na região metropolitana de Curitiba – PR. In: 1º Simpósio Latino Americano de Biossólidos, São Paulo. Anais, p.11.

Pinheiro S & Barreto SB (1996) 'MB-4' - Agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes. Canoas – RS, Gráfica La Solle. 273p.

Pires AMM (2012) Lodo de esgoto: resíduo rico em matéria orgânica gerado durante o tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Disponível em: <<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos>> Acessado em: 25 de março de 2012.

Quaggio Ja & Ungaro MRG (1997) Girassol. In: Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA & Furlani AMC (Eds.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, IAC. p.198.

Rocha GN; Gonçalves JLM & Moura IM (2004) Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. R. Bras. Ci. Solo, 28:623-639.

Rocha MT & Shirota E (1999) Disposição final de lodo de esgoto. Revista de Estudos Ambientais, 1:1-24.

Rodda MRC, Canellas LP, Façanha AR, Zandonadi DB, Guerra JGM, Almeida DL & Santos GA (2006) Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. I- efeito da concentração. Revista Brasileira Ciência Solo, 30:649-656.

Roel AR (2002) A agricultura orgânica ou ecológica e a sustentabilidade da agricultura. Revista Internacional de Desenvolvimento Local, 3:57-62.

Rogers HR (1996) Sources, behaviour and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludge's. The Science of the Total Environment, 185:3-26.

Ross CA, Aita C, Ceretta CA & Fries MR (1990) Utilização de lodo de esgoto como fertilizante: efeito imediato no milho e residual na associação de aveia + ervilhaca. In: 23ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Santa Maria - RS. Resumos, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.20.

Saito ML (2007) O uso do lodo de esgoto na agricultura: Precauções com os contaminantes orgânicos. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br>>. Acessado em: 26 de março de 2012.

Santos GJ, Marion JC & Segatti S (2002) Administração de custos na agropecuária. 3ª ed. São Paulo, Atlas. 139p.

Santos HF & Tsutiya MT (1997) Aproveitamento e disposição final do lodo de estações de tratamento do Estado de São Paulo. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, 2:70-81.

Schirado T, Vergara I, Schalscha EB & Pratt PF (1986) Evidence for movement of heavy metals in a soil irrigated with untreated wastewater. J. Environ. Qual., 15:9-12.

Senesi N. (1989) Composted materials as organic fertilizers. *The science of the total environment*, 81:521-542.

Sharma VK, Caudill M, Fortuna F & Cornacchia G (1997) Processing of urban and agroindustrial residues by aerobic composting: Review. *Energy Conser. Manag.*, 38:453-478.

Sharpley AN & Menzel RG (1987) The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. *Oklahoma, Adv. Agron.* 41:297-324.

Silva CA (2008) Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, G.A et al., *Fundamentos da matéria orgânica do solo*. 2ª ed. Porto Alegre, Metrópole. 597-621p.

Silva FC, Boaretto AE & Berton RS (1995) Características agrotecnológicas, teores de nutrientes e de metais pesados em cana-de-açúcar (soqueira), cultivada em solo adubado com o lodo de esgoto. In: 25º Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Viçosa - MG. *Anais*. p.2279-2287.

Silva JE, Resck DVS & Sharma, RD (2002) Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:487-495.

Silva JE, Resck DVS & Sharma RD (1997) Utilização do lodo de esgoto como fonte de fósforo e nitrogênio para milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, *Anais*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.

Simonete MA, Kiehl JC, Andrade CA, Teixeira CFA (2003) Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:1187-1195.

Silva JFG (1995) Agricultura Sustentável: um novo paradigma ou um novo movimento social? *Informações Agrícolas*, 25:11-24.

Simonete MA (2001) Alterações nas propriedades químicas de um Argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 89p.

Smiderle OJ, Gianluppi D & Gianluppi V (2002) Adubação nitrogenada, espaçamento e época de semeadura de girassol nos Cerrados de Roraima. In: EMBRAPA (Ed.). *Resultados de pesquisa da EMBRAPA Soja-2001: girassol e trigo*. Londrina, Embrapa Soja. p.33-39.

Sobral HR (1999) Globalização e Meio Ambiente. In.: Dowbor L, Ianni O & Resende PA (Eds.) *Desafios da Globalização*. Petrópolis, RJ, Vozes. p.248-251.

Souza JL & Resende P (2003) *Manual de horticultura orgânica*. Viçosa - MG, Aprenda fácil. 564p.

Swift MJ & Woome P (1993) Organic matter and the sustainability of agricultural systems: definitions and measurement. In: Mulungoy K & Merckx R (Eds.). *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. Chichester, Reino Unido, Leuven: Wiley-Sayce co. p.3-18.

Tambosi Filho E, Silva LSCV & De Bem AB (2000) Impactos ambientais, econômicos e sociais da reciclagem de materiais: avaliação do projeto Beijaflor, [S. l.], [S. n.],

Taylor RW, Xiu H, Mehadi AA, Shuford JW & Tadesse, W (1995) Fractionation of residual cadmium, copper, nickel, lead, and zinc in previously sludge-amended soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 26:2193-2204.

Trigueiro RM & Guerrini IA (2003) Uso de biossólidos como substrato para produção de mudas de eucalipto. *Scientia Forestalis*, 64:150-162.

Tsutiya MT (2001) Alternativas de disposição final de biossólido. In: Tsutiya MT, Comparini JB, Sobrinho PA, Hespanhol I, Carvalho PCT, Melfi AJ, Melo WJ & Marques MO (Eds.). *Biossólidos na Agricultura*. São Paulo, SABESP, USP, ESALQ, UNESP. P.133-180.

Vet L (2010) Entrevista cedida ao Instituto de Ecologia da Holanda – IPS - Envolverde. Uma economia do tipo “pega, fabrica- descarta” esgota os recursos naturais. Disponível em: <<http://mwglobal.org/ipsbrasil.net>>. Acessado em: 25 de março de 2012.

Zapparoli ID (1999) O adubo orgânico proveniente de resíduos sólidos de estações de tratamento de esgoto: questões técnicas e tendências de mercado. Disponível em: <<http://www.ecopar.ufpr.br/artigos>>. Acessado em: 23 de maio de 2012.

Zeitouni RF (2005) Análise Crítica da Norma CETESB P 4.230 - “Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação”. Dissertação de Mestrado. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 267p.

Zuin LFS & Queiroz TR (2006) *Agronegócios: gestão e inovação*. São Paulo, Saraiva. 428p.