

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

**EFEITO DO LODO DE ESGOTO NO CRESCIMENTO E ACUMULAÇÃO DE
NUTRIENTES EM PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

MATEUS MOYSES SOUZA

**VILA VELHA
JUNHO / 2016**

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

**EFEITO DO LODO DE ESGOTO NO CRESCIMENTO E ACUMULAÇÃO DE
NUTRIENTES EM PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

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

MATEUS MOYSES SOUZA

**VILA VELHA
JUNHO / 2016**

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UVV-ES

S729e Souza, Mateus Moyses.
Efeito do lodo de esgoto no crescimento e acumulação de
nutrientes em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) /
Mateus Moyses Souza – 2016.
31f.: il.

Orientador: Carlos Eduardo Tadokoro.
Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas) -
Universidade Vila Velha, 2016.
Inclui bibliografias.

1. Ecologia. 2. Lodo de esgoto - Compostagem
I. Tadokoro, Carlos Eduardo. II. Universidade Vila Velha.
III. Título.

CDD 577

MATEUS MOYSES SOUZA

**EFEITO DO LODO DE ESGOTO NO CRESCIMENTO E ACUMULAÇÃO DE
NUTRIENTES EM PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

Dissertação apresentada a 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 28 de Junho de 2016.

Banca Examinadora:



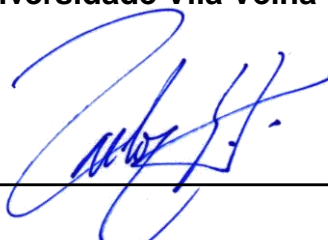
Dr. Frederico Jacob Eutrópico

Instituto Capixaba de Ciências e Administração - ICCA



Dra. Betânia Souza Monteiro

Universidade Vila Velha - UVV



Dr. Carlos Eduardo Tadokoro
Universidade Vila Velha – UVV
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a minha família, em especial aos meus pais Roberto e Maria Aparecida, pelo apoio incondicional e contante incentivo.

Dedico também ao meu Orientador Professor Doutor Carlos Eduardo Tadokoro e ao meu Co-Orientador Professor Doutor Alessandro Coutinho Ramos, pela paciência, confiança, incentivo, amizade e excelente orientação. Onde sem apoio de ambos, este trabalho não teria sido realizado. A eles o meu muito obrigado.

Dedico esta dissertação também a todas as pessoas que me ajudaram de alguma forma a concluir esta dissertação, tanto de forma direta como indireta, a todos um muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família e amigos que sempre estiveram dispostos a me ajudar em todas as etapas do meu mestrado, onde sem a ajuda deles muitas das dificuldades não seriam solucionadas.

Agradeço ao meu orientador Carlos Eduardo Tadokoro, por sempre estar disposto a me ajudar e por sempre me incentivar a ir mais além, a buscar algo a mais, agradeço também aos meus colegas do Laboratório de Imunobiologia da Universidade Vila Velha por sempre estarem dispostos a me ajudar e sempre me dar forças para seguir em frente.

Agradeço ao pessoal da Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) por toda a assistência e ajuda prestada por eles, foi de suma importância para a conclusão de mais essa etapa em minha vida, em especial ao meu Co-Orientador Professor Doutor Alessandro Coutinho Ramos, Júlia Gallon Barcelos e Sávio de Bastos Souza que me ajudaram imensamente enquanto estava nas estações da UENF, me proporcionando toda a ajuda necessária para a realização deste trabalho.

Agradeço a Cordenção de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior (CAPES) por ter me dado a bolsa para que eu tivesse a oportunidade de fazer o mestrado em Ecologia de Ecossistemas na Univerisade Vila Velha – UVV, onde sem esta bolsa não seria possível ter realizado este curso e ter feito esta dissertação.

Agradeço a Universidade Vila Velha – UVV e a todos os seus funcionários, não só os do Laboratório, mas de todo complexo, afinal sem eles, nenhum trabalho nosso seria possível.

Obrigado a Todos!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	II
LISTA DE TABELAS	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
1 INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA.....	3
2.1. LODO DE ESGOTO	3
2.2. DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO EM SOLO AGRÍCOLA.....	4
2.3. BIOATIVIDADE DO LODO DE ESGOTO	6
2.4. SUBSTÂNCIAS HÚMICAS.....	6
2.5. ÁCIDO HÚMICO	8
2.6. ASPECTOS NUTRICIONAIS DO LODO	9
2.6.1. MACRONUTRIENTES.....	10
2.6.2. MICRONUTRIENTES	11
2.7. RESTRIÇÕES NA APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO.....	11
2.8. DESTINO E PROBLEMAS POTENCIAIS DOS CONTAMINANTES	12
3. HIPÓTESE	14
4. OBJETIVOS.....	14
4.1. OBJETIVO GERAL.....	14
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
5. MATERIAL E MÉTODOS	15
5.1. SUBSTRATO DE PLANTIO DAS SEMENTES DE <i>HELIANTHUS ANNUUS</i>	15
5.2. CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES.....	15
5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	15
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
6.1. EFEITOS DO LODO DE ESGOTO NO CRESCIMENTO VEGETATIVO SOB TRÊS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	16
6.2. VARIAÇÃO DE pH NO SUBSTRATO COM LODO DE ESGOTO.....	18
6.3. INTERAÇÕES ENTRE CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NO SUBSTRATO COM LODO DE ESGOTO	20
6.4. CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS.....	21
7. CONCLUSÕES	24
8. REFERÊNCIAS.....	25

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** pH do solo após a colheita das plantas de girassol em diferentes doses de LE e condições experimentais..... 19
- Figura 2:** Teores de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) nas amostras de solo, em razão da adição de LE, após 50 dias de experimento..... 21
- Figura 3:** Acúmulo de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) na parte aérea das plantas de girassol, em razão da aplicação de LE 23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Altura média da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de lodo de esgoto não-esterilizado no substrato e dias após o plantio.....	16
Tabela 2: Altura média da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de lodo de esgoto esterilizado no substrato e dias após o plantio.....	17
Tabela 3: Altura média da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de compostagem no substrato e dias após o plantio.....	17
Tabela 4: Análise comparativa do crescimento das plantas de girassol aos 50 dias após o plantio, submetidas ao Test t-student à nível de 1% (**) e 5% (*) de probabilidade. ^{n.s.} diferença não significativa entre os tratamentos esterilizado e não-esterilizado.....	18

RESUMO

SOUZA, Mateus Moyses, Universidade Vila Velha - ES, junho de 2016. **Efeito do lodo de esgoto no crescimento e acumulação de nutrientes em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. Orientador: Carlos Eduardo Tadokoro.

O destino final do lodo de esgoto (LE) apresenta custos elevados para as estações de tratamento, podendo ser a reciclagem desse resíduo uma boa alternativa para esse resíduo, ou seja, o cultivo de plantas utilizando como substrato o LE pode ser uma excelente alternativa para a sua disposição final. Esse trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da utilização do LE nos parâmetros de crescimento, fisiológicos e bioquímicos de plantas de girassol sob três condições experimentais (tratamentos): na forma de compostagem, LE não-esterilizado e esterilizado (para eliminação dos microrganismos). O lodo foi coletado em uma Estação de Tratamento de Esgoto do Município de Vila Velha. O experimento foi conduzido na casa de vegetação num esquema fatorial 7x3 constando de sete doses de LE (0; 1; 5; 15; 25; 50; 75 e 100%) entre as três condições experimentais (LE esterilizado; não-esterilizado e compostagem do LE) e cinco repetições. Os resultados mostraram que alterações significativas na altura das plantas foram observados no tratamento de LE não-esterilizado. A esterilização do lodo reduziu o seu efeito positivo no crescimento das plantas sugerindo que a participação de microrganismos neste efeito positivo. Porém, o tratamento com compostagem afetou o desenvolvimento das plantas nas doses mais elevadas de LE, inclusive aumentando a taxa de mortalidade, sendo o pH o principal causador deste insucesso. Concluímos que o LE por suas características químicas e facilidade de produção seja um bom substrato orgânico para plantas de interesse ornamental.

Palavras-chave: resíduos urbanos, biossólidos, reciclagem agrícola, compostagem.

ABSTRACT

SOUZA, Mateus Moyses, Universidade Vila Velha - ES, June of 2016. **The effect of sewage sludge in growth and nutrients buildup in sunflowers (*Helianthus annuus* L.)**. Advisor: Carlos Eduardo Tadokoro.

The final destination of sewage (LE) presents high costs to the treatment facilities. It is possible that the recycling of these residues is an alternative for that, meaning that the plants growth using LE as a resource can be an excellent option to the final objective. This paper has as goal to evaluate the effects of using LE in the growth, physiologic and biochemical aspects of sunflowers under three experimental conditions (treatments): composting, non-sterilized and sterilized LE (in order to eliminate microorganisms). The sludge was collected in a sewage treatment facility in the city of Vila Velha. The experiment was conducted at the Greenery House through the factorial scheme: 7x3 (seven per three) with seven LE doses (0; 1; 5; 15; 25; 75; e 100%) among three experimental conditions (sterilized LE; non-sterilized LE; composting LE) and five repetitions. The results have shown that significant changes in plants height have been observed in non-sterilized LE treatment. The sludge sterilization reduced its positive effectiveness in plants growth, suggesting the microorganisms participation in the positive effect. However, the treatment with composting affected the plants development in the highest doses of LE, also increasing the death rate, pointing pH as the cause to this unsuccessful. We concluded that LE, by its chemical characteristics and production ease is a good organic substrate for plants that can be used to ornament spaces or places.

Keywords: urban residues, biosolids, agricultural recycling, composting.

1 INTRODUÇÃO

Devido o crescimento populacional gerando quantidades cada vez maiores de poluentes, ameaçando a saúde pública e o equilíbrio ecológico, temos como consequência o aumento da produção de resíduos urbanos, dos quais os mais abundantes são o lixo urbano e o Lodo de Esgoto (D'Oliveira, 2003).

Segundo La Rovere (2002), com intuito de amenizar o problema, os esgotos estão sendo tratados em instalações denominadas estações de tratamento de esgoto (ETE), é uma estrutura projetada de processos químicos, físicos e/ou biológicos, tratam os esgotos intensificando as condições de autodepuração que ocorrem na natureza, antes mesmo de devolvê-lo ao meio ambiente. Durante o tratamento ocorre a produção de um novo resíduo sólido, o LE, podendo conter normalmente de 40 a 80% de matéria orgânica, saindo da estação em forma de resíduo pastoso ou seco.

O LE é um material heterogêneo, cuja composição depende do tipo de tratamento empregado para purificar o esgoto e das características das fontes geradoras (população e indústrias) e é caracterizado como um material bastante rico em matéria orgânica, com alto teor de umidade e com concentração relativamente elevada de nitrogênio e outros minerais (Rocha & Shirota, 1999). A disposição final deste resíduo tem sido um problema para a maioria das estações de tratamentos de esgotos que não dispõem de uma alternativa consistente para o destino final (Pedroza et al., 2005).

Entre as alternativas de disposição final do LE, a reciclagem agrícola tem se constituído em uma das formas mais utilizadas em diversos países desenvolvidos, como condicionador e fertilizante do solo (Pedroza et al., 2005). De acordo com Silva (2008), nos Estados Unidos a produção anual de lodo chega a 8 milhões de toneladas, sendo 1/3 desse material aplicado no solo.

O cultivo de flores e plantas ornamentais utilizando como substrato o LE têm se destacado como uma das melhores alternativas para a sua disposição final (Ikejiri et al., 2007). A eficiência do uso de LE como matéria prima para substrato para cultivo de plantas ornamentais já foi demonstrada para begônia, impatiens, girassol, gerânio, lírio, boca-de-leão e crisântemo (Almeida et al., 2005).

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 Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 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.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da utilização do LE nos parâmetros de crescimento e nutricionais de plantas de girassol sob três condições experimentais (tratamentos): na forma de compostagem, LE não-esterilizado e esterilizado.

2. JUSTIFICATIVA

2.1. LODO DE ESGOTO

LE é o resíduo que se obtém após o tratamento das águas residuárias (esgotos), com a finalidade de torná-las menos poluída possível (Sanepar, 1997), de modo a permitir seu retorno ao ambiente sem que sejam agentes de poluição. A composição média do lodo aponta para uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%), sendo que do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras, etc.) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais, etc.), e cuja disposição final constitui um dos grandes problemas operacionais para as estações de tratamento (Andreoli, 1999).

Apresentam uma composição bastante complexa, com variáveis que podem influir nos processos de tratamento, tais como, tamanho das partículas, sais, substâncias extracelulares (EPS), bactérias filamentosas, entre outras. Ou seja, os flocos de LE gerado em sistemas que utilizam o processo de lodos ativados são agregados de sólidos suspensos contendo diferentes grupos de microrganismos e partículas orgânicas e inorgânicas embebidas por uma rede polimérica de EPS (Jin et al., 2003).

Devido à complexidade da natureza dos flocos, eles apresentam uma grande variação em suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Estudos sugerem que estas estruturas se mantêm em razão da existência de interações intermoleculares entre seus componentes, tais como, interação hidrofóbica e formação de pontes no EPS pelos cátions presentes (Jin et al., 2003).

O autor ainda enfatiza que algumas propriedades dos flocos como distribuição do tamanho e morfologia, podem diferir substancialmente resultantes de diferenças no ambiente da estação de tratamento.

De acordo com Zeitouni (2005), o LE quando devidamente higienizado, estabilizado e seco, recebe o nome de bio sólido, embora alguns pesquisadores e profissionais da área prefiram manter a denominação de LE.

Alguns LE podem ter o solo agrícola como seu receptor final, desde que rigorosamente atendidas as recomendações técnicas estipuladas pela legislação existentes em muitos países e, já estabelecida no Brasil (CONAMA, 2006).

2.2. DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO EM SOLO AGRÍCOLA

A principal opção para reciclagem de LE é o seu uso como condicionador de solos agrícolas. Vários países do mundo utilizam LE na agricultura, seguindo regulamentações específicas baseadas em resultados obtidos em estudos de avaliação de risco (Pires, 2009).

A disposição final do LE pode ser feita pelo uso benéfico como a aplicação na agricultura, recuperação de áreas degradadas, fabricação de lajotas ou simplesmente pela colocação do lodo em solos ou aterros, caracterizando uma forma não valorizada de uso (Andreoli et al., 2001).

No Brasil, a disposição final do lodo geralmente é o aterro sanitário. Além do alto custo, que pode chegar a 50% do custo operacional de uma ETE, a disposição de um resíduo com elevada carga orgânica no aterro, agrava ainda mais o problema com o manejo do lixo urbano. Em países da Europa e América do Norte, o lodo geralmente é incinerado, depositado em aterros sanitários ou utilizado em áreas agrícolas, dependendo das características do resíduo (Pires, 2009).

Dentre as alternativas para a disposição final, a aplicação na agricultura pode ser considerada uma das mais promissoras, devido a sua sustentabilidade, levando-se em consideração os critérios e procedimentos da legislação. Do ponto de vista econômico, essa opção parece ser a mais vantajosa (Rocha & Shirota, 1999). Segundo Andreoli et al. (2001), este procedimento é compreendido como a produção de um insumo de boa qualidade para a agricultura que deve ser utilizado adequadamente de forma a garantir a segurança ambiental e propiciar maiores ganhos ao produtor rural.

No estado do Paraná não é recomendado o uso do LE para horticultura e para cultivo de produtos consumido crus que tenham contato direto com o lodo. Seu uso só é recomendado para as culturas de milho, cana-de-açúcar, trigo, frutíferas, sorgo, espécies reflorestais e para recuperação de áreas degradadas (Sanepar, 1997).

A utilização do LE, aproveitando seu potencial fertilizante e condicionador de solo para promover o crescimento de plantas, representa a possibilidade de associar ganhos para o produtor, por meio do aumento da produtividade das culturas e redução do uso de fertilizantes minerais. O uso agrícola desses resíduos tem sido recomendado por proporcionar benefícios agrônômicos,

como elevação do pH do solo, redução da acidez potencial e aumento na disponibilidade de macronutrientes, além de representar um benefício de ordem social pela disposição final menos impactante do resíduo no ambiente (Simonete et al., 2003).

Sendo utilizado com fins agrícolas, o lodo pode atuar como condicionador de solo, por apresentar elevada carga orgânica (40% a 60%) e como fonte de nitrogênio para as plantas, por conter teores elevados desse nutriente (até 8%), bem como possibilitar a reciclagem de outros nutrientes (Gangbazo et al., 1995).

Aplicações sucessivas de LE em solos agrícolas podem promover alterações significativas em alguns atributos químicos dos solos (Oliveira et al., 2002). Alguns dos efeitos causados pela aplicação de lodo em solos agrícolas estão diretamente relacionados com a persistência da carga orgânica do resíduo nestes solos. Se parte do carbono orgânico presente no lodo for resistente à degradação, seu teor no solo aumentará ao longo de sucessivas aplicações, podendo proporcionar alterações significativas em algumas propriedades químicas e físicas desse solo (Metzger & Yaron, 1987).

A fração orgânica do lodo confere melhor estruturação aos agregados do solo, tornando-o mais resistente à erosão. Do ponto de vista microbiológico, o lodo pode reequilibrar os microrganismos do solo e tornar as plantas mais resistentes aos fitopatógenos, o que pode reduzir o consumo de pesticidas (Silva, 2005).

Além da aplicação do LE de forma *in natura*, ou seja, tal como ele foi descartado na estação de tratamento de esgoto, existem outras formas de dispor este material na agricultura, sendo utilizado como matéria-prima para a fabricação de fertilizantes orgânicos. Entretanto, uma das maneiras mais simples de se fabricar um fertilizante orgânico é através da compostagem (Rocha & Shirota, 1999).

Há várias vantagens em se realizar a compostagem do LE, uma delas é a higienização do próprio lodo, ou seja, pode reduzir seus principais patógenos (Goldstein et al., 1992).

Por ser uma opção viável para a estabilização e desinfecção destes materiais e posterior reuso, a compostagem é um processo no qual o material orgânico sofre degradação biológica produzindo ao final, um composto

higienizado, semelhante ao húmus. Durante este processo, com a decomposição da matéria orgânica, o composto chega a atingir temperaturas entre 50 a 70°C, destruindo assim os microrganismos patogênicos. O produto assim obtido pode ser usado como um condicionador de solo (Andreoli et al., 2001).

2.3. BIOATIVIDADE DO LODO DE ESGOTO

O LE contém matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Além disso, a matéria orgânica contida no LE pode aumentar o conteúdo de húmus que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão (Tsutiya et al., 2002).

A matéria orgânica do solo e dos resíduos pode ser dividida em dois grandes compartimentos: o primeiro, composto pela fração não-humificada, representada pelos restos vegetais e animais pouco decompostos e pelos compostos orgânicos com categoria bioquímica definida (proteínas, açúcares, ceras, graxas, resinas). Já o segundo compartimento é formado pelas substâncias humificadas (SH). O conteúdo relativo de cada fração da matéria orgânica é um indicativo da qualidade do húmus do solo. Alterações na qualidade do húmus em solos com adição de resíduos orgânicos de origem urbana estão ainda insuficientemente avaliadas (Canellas et al., 2001).

2.4. SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

De acordo com Canellas et al. (2001), as SH são produto da intensa transformação dos resíduos orgânicos pela biomassa e polimerização dos compostos orgânicos (principalmente através de reações de condensação, oxidação e demetilação) até macromoléculas resistentes a degradação biológica.

As SH são encontradas em solos nas seguintes formas, como agregados macromoleculares insolúveis; como macromoléculas ligadas entre si por meio de pontes de cátions di e trivalentes; associadas aos minerais por meio de

pontes catiônicas, pontes de hidrogênio e reações de troca de ligantes, e oclusas nas entre camadas de argilominerais expansivos (Dick et al., 1998).

As SH participam de importantes reações que ocorrem nos solos, influenciando a fertilidade pela liberação de nutrientes, pela detoxificação de elementos químicos, pela melhoria das condições físicas e biológicas e pela produção de substâncias fisiologicamente ativas. Vários trabalhos têm demonstrado que as SH podem influenciar a acumulação de nutrientes e o crescimento vegetal. Os efeitos das SH sobre o metabolismo das plantas foram apresentados como resultado da influência positiva sobre o transporte de íons facilitando a absorção; do aumento da respiração e da velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs, resultando em maior produção de ATP; do aumento no conteúdo de clorofila; do aumento na velocidade e síntese de ácidos nucleicos; do efeito seletivo sobre a síntese protéica; do aumento ou inibição da atividade de diversas enzimas (Façanha et al., 2002).

De acordo com sua solubilidade, a matéria orgânica humificada é composta por diferentes frações, ou seja, essa distribuição das frações humificadas ocorre em três categorias: as huminas (H), os ácidos fúlvicos (AF) e os ácidos húmicos (AH). As H são insolúveis e representam a matéria orgânica intimamente ligada à fração mineral do solo; os AF são solúveis tanto em meio ácido como básico e apresentam grande quantidade de grupamentos funcionais oxigenados, já os AH são insolúveis em meio fortemente ácido e representam a fração reativa mais estável da matéria orgânica humificada (Canellas et al., 2001).

O efeito das SH sobre o desenvolvimento vegetal depende do tipo da fonte de onde são isoladas, da idade e do tipo das plantas e da concentração de SH no meio. As SH podem favorecer o crescimento das plantas por meio do aumento da eficiência na absorção de nutrientes. A ação promotora de crescimento vegetal que as SH apresentam já é bem estabelecida, todavia, os mecanismos bioquímicos envolvidos nesse processo não são claros até hoje (Rodda et al., 2006).

Façanha et al. (2002) demonstraram que SH de massa molecular relativamente elevada, essencialmente AH, isoladas de LE e de vermicomposto, promoveram o desenvolvimento radicular de plântulas de milho e café e a ativação da H⁺-ATPase de membrana plasmática.

2.5. ÁCIDO HÚMICO

A matéria orgânica humificada é composta pelas frações alcalino-solúveis e por uma fração insolúvel ou residual. Os AH correspondem à fração alcalino-solúvel que precipita em meio fortemente ácido, ou seja, pH 2 ou menor. A avaliação da qualidade da matéria orgânica pode ser feita através da concentração e as características químicas dos AH. São considerados misturas químicas e fisicamente heterogêneas de compostos orgânicos ligados à fração mineral dos solos, caracterizados pela ausência de repetição na sua organização estrutural (Canellas et al., 2000).

Segundo Canellas et al. (2000), a fração AH dos resíduos extraídos de composto de resíduos sólidos urbanos estrutural e morfológicamente menos evoluída quimicamente que os AH obtidos do lodo da estação de tratamento de esgotos.

Os AHs participam da maioria das reações que ocorrem no solo, favorecendo a agregação e a estabilidade dos agregados pela formação de complexos organominerais; contribuem para a solubilização de P e diminuição da energia de fixação nos óxidos; apresentam capacidade de adsorção de metais pesados; servem de forte poder tampão da solução do solo; diminuem o valor do ponto de carga de efeito salino zero; além de servir como reserva de nutrientes às plantas (Canellas et al., 2000).

2.6. ASPECTOS NUTRICIONAIS DO LODO

Com adoção de políticas públicas que incentivam a reciclagem de lixo e o tratamento de esgotos, são geradas quantidades apreciáveis de matéria orgânica de origem urbana disponível aos agricultores. Esses resíduos destinam-se ao uso agrícola potencial, já que nutrientes minerais fazem parte da sua composição (Canellas et al., 2000).

O interesse agrícola pelo LE está associado principalmente ao seu teor de nutrientes (N, P, K e micronutrientes) e ao conteúdo de matéria orgânica. Os efeitos da matéria orgânica no solo se fazem a longo prazo, melhorando a resistência dos solos, erosão e ao adensamento, ativando a vida microbiana dos solos e aumentando a resistência das plantas a pragas e doenças (Borkert et al., 2003). Segundo Rocha & Shirota (1999) a matéria orgânica desempenha um importante e complexo papel na dinâmica dos solos, afetando suas características biológicas, físicas, químicas e físico-químicas. Sabidamente, os solos tropicais e sub-tropicais do Brasil são, em geral, pobres em matéria orgânica.

2.6.1. MACRONUTRIENTES

O nitrogênio (N) é normalmente o mais valioso constituinte do lodo, sendo também o elemento as quais as culturas apresentam maiores respostas. Ele também pode ser usado como fator limitante para a definição da dosagem máxima de lodo a ser aplicado ao solo, pois, acima de certo nível, o nitrogênio pode lixiviar em forma de nitratos e contaminar o lençol freático. O nitrogênio do lodo provém dos dejetos presentes no esgoto e da biomassa microbiana, encontrando-se na forma mineral (nitratos e amônio) ou orgânica. O nitrogênio amoniacal (NH_4^+) e nítrico (NO_3^-) é considerado totalmente disponível para a planta, enquanto o nitrogênio orgânico deve passar por mineralização microbiológica antes de ser absorvido (Sanepar, 1997).

O fósforo (P) contido no lodo provém dos dejetos e corpos microbianos do esgoto e dos detergentes e sabões que utilizam fosfatos como aditivos. A biodisponibilidade deste elemento no lodo é alta, variando de 40 a 80% do fosfato total (Sanepar, 1997). É considerado um dos constituintes de importante valor agrônômico, de modo geral, eles contêm quantidades de fósforo ligeiramente inferiores às de nitrogênio (Tsutiya, 2001). Entretanto, as plantas necessitam de menores quantidades de fósforo do que de nitrogênio para seu desenvolvimento. O fósforo está presente no LE na forma orgânica e inorgânica, sendo que a parcela orgânica precisa ser mineralizada para ficar disponível às plantas (Munhoz, 2001).

Segundo Melo et al. (2001), o lodo é pobre em potássio (K) , pois esse elemento é muito solúvel em água, resultando na baixa concentração deste na fase sólida do tratamento, conseqüentemente, na composição final do lodo. Apesar disso, mesmo apresentando-se em baixos teores, a totalidade desse nutriente existente é considerada assimilável pelas plantas. O teor de potássio presente no LE não é suficiente para suprir as necessidades das plantas e, nesse caso, deve-se tomar um cuidado especial, para que não falte às plantas e, se necessário, completar a sua dosagem utilizando-se fertilizante mineral.

Outros macronutrientes (cálcio, magnésio e enxofre) estão presentes no lodo essencialmente na forma mineral e, mesmo em pequenas aplicações de LE, podem suprir as necessidades de magnésio e enxofre das culturas agrícolas (Sanepar, 1997).

2.6.2. MICRONUTRIENTES

O LE apresenta, em sua composição, todos os micronutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas: zinco, ferro, cobre, manganês, boro, molibdênio e cloro, às vezes em concentrações bastante elevadas, como ocorre com o zinco e o ferro. O lodo pode ser uma excelente fonte de micronutrientes para os vegetais, quando este é aplicado em taxas suficientes para atender as necessidades de nitrogênio das plantas, normalmente as necessidades de micronutrientes também são atendidas (Zeitouni, 2005).

2.7. RESTRIÇÕES NA APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

Vários estudos no Brasil comprovaram a eficácia do uso agrícola de LE. Entretanto, a possível presença de poluentes como metais pesados, patógenos e compostos orgânicos persistentes são fatores que podem provocar impactos ambientais negativos (Pires, 2009).

Dependendo de sua composição, a aplicação do LE pode apresentar restrições ao uso agrícola, tais como, metais pesados, compostos orgânicos tóxicos ou presença de patógenos que causem risco à saúde humana ou animal. Podem, ainda, causar problemas como, por exemplo, salinização e acidificação do solo. Quando não ocorrem tais restrições, as quantidades de LE a serem aplicadas visando à nutrição nitrogenada das culturas devem atender a dois objetivos, fundamentalmente, satisfazer as necessidades de N das plantas, e evitar a geração de nitrato em quantidades excessivas que venham a lixiviar no perfil do solo, colocando em risco a qualidade das águas superficiais (Gangbazo et al., 1995).

No Brasil, a caracterização do LE torna-se importante uma vez que a rede de coleta residencial não é, na maioria das vezes, separada da rede de coleta industrial. Isto faz com que exista uma maior probabilidade de ocorrência de metais pesados e outros dejetos industriais no LE. Além disso, em muitas regiões existem problemas graves de saúde, o que pode fazer com que o LE apresente elevados teores de patógenos (Rocha & Shirota, 1999).

Entre os contaminantes químicos, podem ser encontrados contaminantes orgânicos provenientes de esgotos domésticos e industriais, podendo ser, medicamentos farmacêuticos, produtos de limpeza, solventes, poluentes derivados de combustão, pesticidas, entre outros (Saito, 2007). De acordo com

Rogers (1996), a concentração de contaminantes químicos orgânicos no LE vem aumentando significativamente devido ao aumento da produção dessas substâncias para uso industrial e doméstico.

2.8. DESTINO E PROBLEMAS POTENCIAIS DOS CONTAMINANTES

Uma vez aplicados no solo, esses contaminantes orgânicos do lodo podem ter destinos diversos, de acordo com suas características físico-químicas, tais como, volatilização para a atmosfera, lixiviação para águas subterrâneas, degradação química e biológica (processo lento), absorção pelas plantas e bioacumulação em organismos que se alimentam de materiais ou de outros organismos contaminados (Saito, 2007).

Krogman (2000) chama a atenção para a importância do monitoramento desses contaminantes orgânicos do LE aplicados no solo, pois a relevância dessas substâncias depende de algumas características como a sua concentração no lodo, a persistência no ambiente, a facilidade de entrar na cadeia alimentar e a toxicidade a organismos.

Conseqüentemente, de um lado, é necessário que o teor desses contaminantes no lodo seja constantemente monitorado, por outro lado, o possível comportamento deles nas áreas de aplicação deve ser previamente estudado e monitorado na fase pós-distribuição do lodo. Os seguintes elementos como de maior preocupação é o Arsênio (As), Boro (B), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Mercúrio (Hg), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Selênio (Se) e Zinco (Zn). Alguns deles são nutrientes importantes no desenvolvimento de plantas, porém, em teores elevados, pode causar sérios riscos para o desenvolvimento das plantas e para a saúde dos animais, sendo grande problema o risco de acumulação desses elementos nos solos (Rocha & Shirota, 1999).

Porém os autores Marx et al. (1995) recomendam a aplicação do LE em florestas e áreas degradadas, com base nos seus experimentos onde avaliaram a lixiviação de nitrato ou metais tóxicos para águas subterrâneas, e não fazem referência a contaminantes orgânicos. Destaca-se que disponibilidade de muitos desses metais, na forma catiônica, depende do nível de pH (acidez) do solo, assim, há a necessidade de monitoramento do nível de pH em solos tratados com LE contaminado com metais pesados. Como regra

geral, recomenda-se que o pH seja mantido em nível superior a 6,5 (Rocha & Shirota, 1999).

3. HIPÓTESE

O Lodo de esgoto não-esterilizado terá melhores taxas de crescimento vegetal, acúmulo de nutrientes e parâmetros nutricionais, no *Helianthus annuus* L. quando comparado aos outros tratamentos.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GERAL

- O objetivo geral deste trabalho foi avaliar os efeitos da utilização do LE nos parâmetros de crescimento e acumulação de nutrientes, em plantas de girassol, sob três condições experimentais (tratamentos): na forma de compostagem, Lodo de esgoto não-esterilizado e esterilizado.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar perante os tratamentos qual terá a melhor taxa de crescimento vegetal e ganho nutricional para as plantas de girassol.
- Analisar perante aos padrões relatados no presente estudo o substrato mais indicado para o crescimento ideal da planta de girassol.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na casa de vegetação, Complexo de Biopráticas, Universidade Vila Velha (UVV), num esquema fatorial 7x3 constando de sete concentrações de LE (0; 1; 5; 15; 25; 50; 75 e 100%), três condições experimentais (LE esterilizado, não-esterilizado e compostagem do LE) e cinco repetições por tratamento, as sementes foram plantadas em uma profundidade de aproximadamente 3 cm, em vasos de 10 litros, foram plantadas 4 sementes por vaso, e plantadas longe do chão em uma altura de 90 cm, onde as plantas recebia sol constante durante todo o dia, foram plantadas no segundo semestre de 2015, e foram acompanhadas por 50 dias, e regadas 3 vezes por semana. A análise da altura da parte aérea das plantas de girassol foi realizada com o auxílio de uma régua milimetrada.

5.1. SUBSTRATO DE PLANTIO DAS SEMENTES DE *Helianthus annuus*

O substrato de plantio foi composto por areia lavada e amostras de LE e compostagem em doses crescentes em uma fração de 3 de areia para 1 de LE. Os substratos contendo amostra de LE esterilizado foram previamente esterilizados em autoclave a 121° C - durante 60 minutos, para eliminação de patógenos.

5.2. CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES

As análises dos teores de nutrientes na parte aérea, especificamente de macro e micronutrientes foram realizadas na Estação Experimental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda, Campos dos Goytacazes/RJ.

5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O preparo de dados e obtenção de gráficos com Excel 2007 for Windows. Os resultados foram analisados por meio de teste t-student ou análise de variância (ANOVA), seguida de comparação de médias pelo teste de Tukey. Foram consideradas diferenças significativas $p < 0,05$, utilizando o programa computacional SAEG – Sistema de Análise Estatística e Genética (Euclides, 1983).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. EFEITOS DO LODO DE ESGOTO NO CRESCIMENTO VEGETATIVO SOB TRÊS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Durante os 50 dias de experimento, verificou-se que o crescimento vegetal contendo Lodo não-esterilizado foi superior ao Lodo esterilizado e a Compostagem no que diz respeito ao crescimento vegetativo das plantas de girassol (Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3).

A análise química do substrato da compostagem foi primordial para explicar tal elevada taxa de toxidez e mortalidade das plantas. Na compostagem, o pH foi o principal causador deste insucesso no crescimento, pois apresentou-se cada vez mais ácido com adição de lodo compostado, não permitindo assim, o desenvolvimento das plantas (Figura 1, Tabela 3). Klock-Moore (1999) observou em begônia e *impatiens* cultivadas em vaso, com substratos contendo composto de LE e resíduos de poda, verificou-se um aumento linear na altura das plantas, porém os autores fizeram uma calagem no composto previamente. No presente estudo utilizamos o lodo compostado *in natura*.

Tabela 1. Altura média da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de lodo de esgoto não-esterilizado no substrato e dias após o plantio.

		Doses de lodo de esgoto não-esterilizado							
		0%	1%	5%	15%	25%	50%	75%	100%
DAP	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
	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. As médias com letras maiúsculas, numa mesma coluna, comparam as médias de um mesmo tratamento (Doses de lodo de esgoto não-esterilizado) em diferentes épocas (DAP). Médias com letras minúsculas, numa mesma linha, comparam médias entre os diferentes tratamentos (Doses de lodo de esgoto não-esterilizado), numa mesma época (DAP). DAP- Dias após o plantio. *Alturas em centímetros

Tabela 2. Altura média da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de lodo de esgoto esterilizado no substrato e 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	7.1Ce	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 (Doses de lodo de esgoto esterilizado), numa mesma época (DAP). DAP- Dias após o plantio. *Alturas em centímetros.

Tabela 3. Altura média da parte aérea das plantas de girassol em função das concentrações de compostagem no substrato e dias após o plantio.

		Doses de lodo de esgoto							
		0%	1%	5%	15%	25%	50%	75%	100%
DAP	7	3.4 Ed	5.6 Ea	5.9 Ea	5.1 Eb	5.2 Db	4.7 Dc	4.6 Cc	4.8 Cc
	14	4.1 De	8.2 Db	8.8 Da	7.4 Dc	7.5 Cc	6.9 Cc	6.3 Bcd	7.2 Bc
	21	7.1Ce	13.3 Cb	15.8 Ca	11.1 Cc	10.6 Bc	9.4 Bd	8.6 Ad	9.1 Ad
	30	13.8 Bb	16.3 Ba	19.6 Ba	14.2 Bb	11.0 Bc	9.9 Bd	-	-
	50	21.6 Ae	32.5 Ab	38.0 Aa	28.7 Ac	23.1 Ad	17.5 Af	-	-

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 compostagem) em diferentes épocas (DAP). Médias com letras minúsculas, numa mesma linha, comparam médias entre os diferentes tratamentos (Doses de compostagem), numa mesma época (DAP). DAP- Dias após o plantio. *Alturas em centímetros

Observou-se um crescimento gradual das plantas nas doses de lodo não-esterilizado, ou seja, o crescimento aumentou com o incremento nos dias após o plantio. Pode-se observar que as doses de LE 25 e 50% alcançaram os maiores valores de altura (Tabela 1, 4). Estes resultados contradizem aos especulado por Deschamp & Favaretto (1997), em que postularam que o cultivo de girassol em concentrações crescentes de LE, não resultaria em diferenças significativas na altura da planta. Por outro lado, Caldeira Júnior et al. (2005) trabalhando com *Azadirachta indica* A. Juss obtiveram respostas lineares com o incremento nas doses de lodo de esgoto aplicadas, similar ao obtido neste estudo até a dose ótima, pois o nosso comportamento foi polinomial. Esta interação lodo de esgoto e crescimento é muito importante,

pois a aplicação de LE, além de fornecer nutrientes às plantas, melhora a estruturação das partículas do solo, favorecendo a infiltração de água, aumentando o desenvolvimento radicular e levando assim ao crescimento vegetal (Andreoli et al., 2001).

Com relação ao lodo esterilizado, verificou-se um crescimento significativo ($P < 0.012$) na dose de 25%, porém pode ser observado que o crescimento não se manteve de forma linear. Entretanto, para o crescimento vegetativo, constatou-se que a dose de 25% LE foi a ideal para ambas nas condições experimentais (esterilizado e não-esterilizado) (Tabela 2, 4). Especulamos que a esterilização do lodo reduziu o seu efeito positivo no crescimento das plantas, devido à contribuição de microrganismos presentes no LE. Estes resultados diferenciam-se aos encontrados por Deschamps & Favaretto (1997), com girassol e Klock-Moore (1999) para begônia e *impatiens* cultivadas em vaso, onde doses crescentes de LE esterilizado e não-esterilizado, não se diferenciaram na indução de crescimento das plantas. A forma de produção do lodo pode ser um fato adicional no entendimento destes resultados.

Analisando o tratamento com compostagem, o crescimento vegetativo nas doses mais elevadas de LE compostado fora inibido, aumentando assim a taxa de mortalidade das plantas (Tabela 3). Contudo, podemos visualizar um crescimento significativo nas dosagens de LE entre 1% e 5%, prevalecendo um maior crescimento na dose de 5%. Estes resultados reforçam a Teoria da Bioatividade de substâncias húmicas presentes no lodo de esgoto e vermicompostos (Canellas et al., 2002, Zandonadi et al., 2006).

Tabela 4. Análise comparativa do crescimento de girassol, 50 dias pós-plantio nos experimentos de melhor resultado.

Condição Experimental	Doses de lodo de esgoto							
	0%	1%	5%	15%	25%	50%	75%	100%
LE Não-esterilizado	21.6 ^{n.s.}	30.2 ^{n.s.}	38.9 ^{n.s.}	50.3*	70.3**	66.4**	59.8**	41.0**
LE Esterilizado	21.5	35.3	44.2	46.4	54.2	45.8	34.6	30.1

Resultados analisados ao Test t-student. NS = diferença não significativa entre os tratamentos esterilizado e não-esterilizado.

6.2. VARIAÇÃO DE pH NO SUBSTRATO COM LODO DE ESGOTO

Os valores de pH das condições experimentais apresentaram decréscimos significativos com o aumento da porcentagem de LE utilizado, no

entanto, mesmo para a maior porcentagem aplicada, o pH permaneceu em valores entre 4 a 6. Melo & Marques (2000), relatam efeito oposto, ou seja, a eficiência do lodo em aumentar o pH do solo, por outro lado, no presente estudo utilizamos apenas areia lavada no preparo do substrato. Segundo estudos de Fernandes (2000), em razão da alcalinidade dos materiais utilizados no processo de tratamento do lodo, pode ser adicionado cal virgem (CaO) ou cal hidratada (Ca(OH)₂), com objetivo na eliminação de patógenos e estabilização do resíduo.

Segundo Kiehl (1979), as plantas têm dificuldades de sobreviver em solos com reação inferior a pH 4,0 e superior a pH 9,0, sendo que a maioria delas sobrevivem 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 elementos do solo, promovem um aumento do pH. Contudo, devemos levar em conta os diferentes processos de produção do lodo interferindo no pH do mesmo onde o pH do solo estava entre 6 e 7,2.

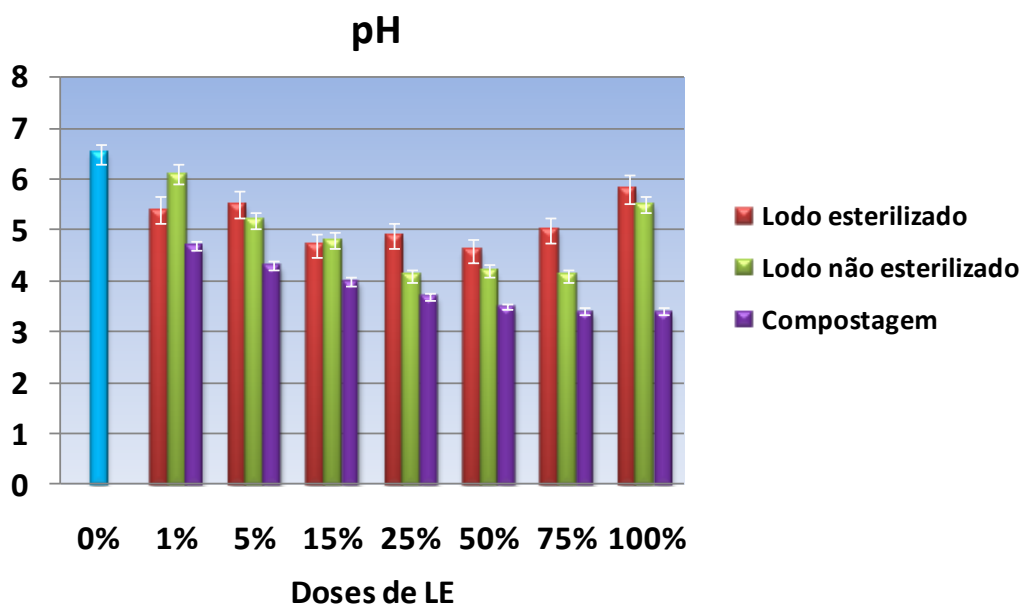


Figura 1. pH do solo após a colheita das plantas de girassol em diferentes doses de LE e condições experimentais, aos 50 dias.

6.3. INTERAÇÕES ENTRE CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NO SUBSTRATO COM LODO DE ESGOTO

Analisando os resultados da concentração de nutrientes no lodo, observa-se que os teores de fósforo no solo aumentaram linearmente em função das porcentagens de LE nas três condições experimentais (Figura 2A). Isto fornece evidências do referido elemento ser fornecido ao sistema solo-planta, com o emprego de tal resíduo, uma vez que em 100% LE existe uma alta concentração de fósforo. O mesmo comportamento foi observado para o Magnésio (Figura 2D). 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 apontam para expressiva contribuição do LE em relação ao fósforo disponível. O LE utilizado neste estudo possui elevadas concentrações deste nutriente. Segundo Berton et al (1989), a pronta disponibilidade do fósforo contido no lodo de esgoto se deve ao fato da baixa relação C/P e do nutriente estar predominantemente na forma mineral.

Em relação ao potássio (Figura 2B), segundo Andreoli (1999), de modo geral, o LE é pobre neste nutriente, não suprimindo as necessidades das plantas. Vários autores têm recomendado a complementação do potássio quando da sua utilização, de modo a evitar reflexos negativos na produtividade.

Teores razoáveis de nutrientes como cálcio e magnésio (Figura 2C-D) são encontrados em LE de origens residencial e industrial, conforme constatado por Guerrini & Trigueiro (2004), ao estudá-los na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. Ao contrário do utilizado nesse experimento, Deschamps & Favaretto (1997), estudando o efeito do LE complementado com fertilizante mineral, observaram que os teores de Ca e Mg do solo aumentam em função de porcentagens crescentes de LE, atribuindo este comportamento ao material corretivo adicionado ao lodo.

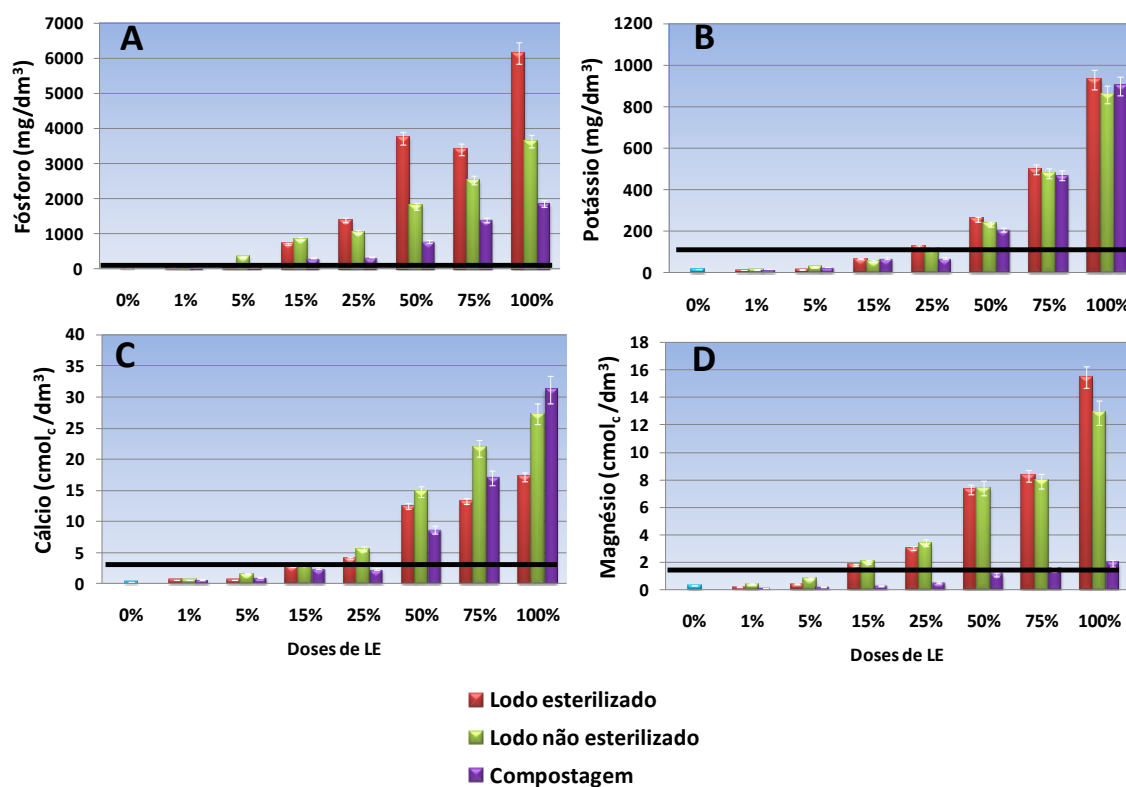


Figura 2. Teores de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) nas amostras de solo, em razão da adição de LE, após 50 dias de experimento. As linhas pretas representam os valores referenciais para a cultura do girassol, segundo o Manual : *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação* UFV (Ribeiro, 1999).

6.4. CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS

Verifica-se que, para o fósforo, o efeito das porcentagens de LE ocorreu no sentido de favorecer sua absorção. Dessa forma, as quantidades absorvidas com a aplicação de 50% de lodo esterilizado foram superiores às obtidas com as demais porcentagens e condição experimental (Figura 3A). Em termos médios, as porcentagens de LE proporcionaram quantidades absorvidas de fósforo distintas entre si. O fósforo é um nutriente essencial como parte de diversos compostos de estruturas importantes de plantas e como uma catálise na conversão de diversas reações bioquímicas importantes nas plantas. O fósforo se destaca especialmente por sua função de captura e conversão da

energia do sol em compostos úteis de plantas. De acordo com Oliveira et al. (1995), esse comportamento vai de encontro às afirmações de Ayuso et al. (1992), as quais pressupõem maior absorção desse elemento pelas plantas em decorrência de sua presença, em quantidades satisfatórias, no lodo. 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 conteúdos de potássio nas plantas desenvolvidas no substrato LE (Figura 3B), devem-se ao fato de que há menor disponibilidade desse nutriente no lodo. Segundo os estudos de Oliveira et al. (1995), o LE possui baixa concentração de potássio (causa desregularidade na controle osmótico da planta), em razão da sua alta solubilidade em água, sendo necessária a complementação do lodo com esse nutriente.

Em se tratando de cálcio e magnésio, há um decréscimo da concentração dos nutrientes na parte vegetativa, sendo os maiores decréscimos relativos observados para cálcio (Figura 3C) e os menores para magnésio (Figura 3D). De acordo com Melo & Marques (2000), podemos 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 pelas plantas, observou o aumento significativo com a aplicação das porcentagens de LE. Entretanto, a complementação do lodo com potássio diminuiu o acúmulo de cálcio e magnésio nas plantas. 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.

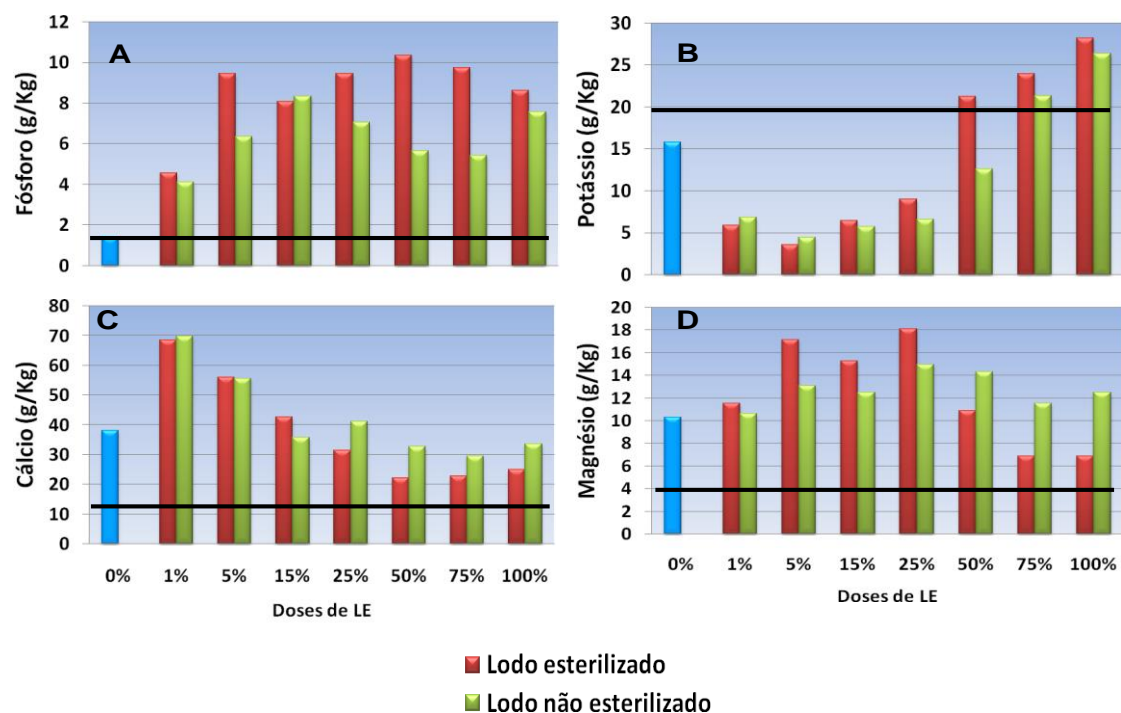


Figura 3. Acúmulo de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) na parte aérea das plantas de girassol, em razão da aplicação de LE. As linhas pretas representam os valores referenciais para a cultura do girassol, segundo o Manual: *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação* UFV (Ribeiro, 1999).

7. CONCLUSÕES

O Lodo de esgoto pode ser considerado um valioso adubo orgânico proporcionando diversos benefícios, entre eles, o fornecimento de nutrientes para as plantas (em especial o Nitrogênio e Fósforo), aumento da capacidade de retenção de água, aumento do teor de alguns micronutrientes (Zn, Cu, Mn e Mo) e uma melhor estruturação do solo pela presença de matéria orgânica (Damasceno & Campos, 1998). A esterilização do lodo reduziu o seu efeito positivo no crescimento das plantas sugerindo que a participação de microrganismos neste efeito. Por outro lado, o tratamento com compostagem afetou o desenvolvimento das plantas nas porcentagens mais elevadas de LE, inclusive aumentando a taxa de mortalidade das plantas.

A análise do substrato da compostagem mostrou que o pH foi o principal causador deste insucesso no crescimento das plantas. Os aspectos positivos no crescimento das plantas correlacionaram-se positivamente com a ativação na atividade das H⁺-ATPases da membrana plasmática. Embora, a alteração na fisiologia radicular tenha sido observada, significativos incrementos na taxa fotossintética foram detectados preliminarmente. Os resultados deste trabalho reforçam a teoria da bioatividade do LE na regulação das bombas de prótons e acumulação de nutrientes.

A condição experimental utilizando LE não esterilizado na concentração de 25 apresentou o melhor resultado, do ponto de vista agrônomo, na produção de plantas ornamentais.

A utilização do LE como substrato de plantio das sementes de *Helianthus annuus* mostrou-se uma opção viável para a produção das plantas, devido ao aporte significativo de nutrientes e matéria orgânica que o lodo confere. A um custo relativamente reduzido, ou seja, pode ser uma alternativa para sua disposição final e constitui uma ferramenta a ser utilizada pelas prefeituras, na arborização urbana e recuperação de áreas degradadas. Entretanto, concluímos que o LE por suas características químicas e facilidade de produção, seja um bom substrato orgânico para plantas de interesse ornamental.

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.C.A.; FANHANI, J.C.; D'OLIVEIRA, P.S. Utilização de lodo de esgoto como componente de substrato para o cultivo de Vinca (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don). **Cesumar**, v. 7, n. 1, p. 41-48, jan.-jun. 2005.

ANDREOLI, C.V. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. Curitiba: Universidade Federal do Parana, 1999. Tese Doutorado

ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 1, Belo Horizonte: DESA, 2001.

ARAUJO, F.F.; GIL, F.C.; TIRITAN, C.S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 1, p. 1-6, jan.-mar. 2009.

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

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, jan. 2003.

CALDEIRA JÚNIOR, C.F.; SOUZA, R.A.; SOUZA, G.M.; ARAÚJO, A.V.; SAPAIO, R.A.; MARTINS, E.R. Avaliação de crescimento do Nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss) adubado com lodo de esgoto em solo degradado. In: Congresso Nacional de Botânica, 56, Curitiba: Anais, 2005.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; MORAES, A.A.; RUMJANEK, V.M.; OLIVARES, F.L. 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 Ciência Solo**, v. 24, p. 741-750, 2000.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RUMJANEK, V.M.; MORAES, A.A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, dez. 2001.

CARVALHO, P.C.T.; BARRAL, M.F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. São Paulo, v.3, n.2, p. 1-4, 1981.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N° 375 de 29 de agosto de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, Seção 1, v. 143, n. 167, p. 141-146, 2006.

CORRÊA, R.S.; WHITE, R.E. & WEATHERLEY, A.J. Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 274-280, 2005.

DAMASCENO, S.; CAMPOS, J.R. **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>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura de feijoeiro e do girassol. *Sanare, Curitiba*, v.8, n.8, p33-38, jul./dez. 1997.

DICK, D.P.; GOMES, J. ; ROSINHA, P.B. Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 22, p. 603-611, 1998.

D'OLIVEIRA, P.S. Uso de lodo de esgoto submetido a diferentes processos de redução de patógenos na produção de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev.) Maringá: UEM, 2003. 158p. Tese Doutorado

FAÇANHA, A.R.; FAÇANHA, A.L.O.; OLIVARES, F.L.; GURIDI, F.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M.A.; CANELLAS, L.P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1301-1310, set. 2002.

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

GANGBAZO, G.; PESANT, A.R.; BARNETT, G.M.; CHARUEST, J.P.; CLUIS, D. Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of hog manure and mineral fertilizers. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 24, n. 3, p. 420-425, 1995.

GOLDSTEIN, N.; RIGGLE, D.; STEUTEVILLE, R. "Sludge composting maintains growth". **BioCycle**, v.33, n.12, p.49-56, dec. 1992.

GUERRINI, I.A.; TRIGUEIRO, R.M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1069-1076, 2004.

IKEJIRI, L.; CAMILLI, L.; KLEIN, J.; RODRIGUES, J.D.; BOARO, C.S.F. Avaliação da limitação estomática e mesofílica da assimilação de CO₂ em girassol ornamental cultivado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 855-857, jul. 2007.

JIN, B.; WILEN, B.; LANT, P. A comprehensive insight into floc characteristics and their impact on compressibility and settleability of activated sludge. *Chem. Eng. J.*, v. 95, p. 221-234, 2003.

KIEHL, J.C. *Manual de edafologia*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

KLOCK-MOORE, K.A. **Bedding plant growth in greenhouse waste and biosolid compost**. *HortTechnology*, Alexandria, v.9, n.2, p.210-213, Apr./June 1999.

LA ROVERE, E.L. **Manual de auditoria ambiental para estações de tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, p. 319, 1997.

MARX, D.H.; BERRY, C.R.; KORMANIK, P.P. **Application of municipal sewage sludge to forest and degraded land**: agricultural utilization of urban and industrial by-products. Madison: American Society of Agronomy, 1995.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G. Efeito das doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.449-455, 1994.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (eds). *Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto*, Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. p. 45-67, 2000.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA et al. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, p. 289-364, 2001.

METZGER, L.; YARON, B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. *Adv. Soil Sci.*, 7:141-163, 1987.

MUNHOZ, R.O. Disponibilidade de fósforo para o milho em solo que recebeu lodo de esgoto. Campinas: IAC, 2001. 74p. Tese Mestrado

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

PEDROZA, J.P.; BELTRÃO, N.E.M.; HAANDEL, A.C.V.; GOUVEIA, J.P.G.; LEITE, J.C.A. Doses crescentes de biossólidos e seus efeitos na produção e componentes do algodoeiro herbáceo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 2, p. 1-13, 2005.

PIRES, A.M.M. Lodo de esgoto: resíduo rico em matéria orgânica gerado durante o tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos(ETEs).<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos/lodo_de_esgoto.html> 25 Out. 2015.

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

RODDA, M.R.C.; CANELLAS, L.P.; FAÇANHA, A.R.; ZANDONADI, D.B.; GUERRA, J.G.M., ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A. 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**, v. 30, p. 649-656, 2006.

ROGERS, H.R. Sources, behaviour and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludge's. **The Science of the Total Environment**, v.185, n.1-3, p.3-26, 1996.

SAITO, M.L. O Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos. **Embrapa Meio Ambiente**, dez. 2007.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná: Manual Técnico para Utilização Agrícola do lodo de esgoto no Paraná, p. 96, 1997.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S. Características agrotecnológicas, teores de nutrientes e de metais pesados em cana-de-açúcar (soqueira), cultivada em solo adubado com o lodo de esgoto. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Viçosa: SBCS/UFV, p. 2279-2287, 1995.

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

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

TRIGUEIRO, R.M. Uso de bio sólidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto. Botucatu, 2002. 94. Tese Mestrado

TSUTIYA, M.T. Características de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA et al. **Bio sólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, p. 89-132, 2001a.

TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Bio sólidos na Agricultura. São Paulo, p. 468, 2002.

ZEITOUNI, R.F. Análise Crítica da Norma CETESB P 4.230 – “Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação”. Campinas: IAC, 2005. 267. Tese Mestrado