



**Jorge Luiz da Paixão Filho**

**Aplicação de lodo de lagoa facultativa em roseira**

**CAMPINAS  
2012**





**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Jorge Luiz da Paixão Filho**

**Aplicação de lodo de lagoa facultativa em roseira**

**Orientador: Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti**  
**Co-orientador: Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho**

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Saneamento e Ambiente.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO JORGE LUIZ DA PAIXÃO FILHO E ORIENTADO PELO PROF. DR. ADRIANO LUIZ TONETTI.

ASSINATURA DO ORIENTADOR

---

**CAMPINAS**  
**2012**

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

P167a Paixão Filho, Jorge Luiz da  
Aplicação de lodo de lagoa facultativa em roseira /  
Jorge Luiz da Paixão Filho, 1984. --Campinas, SP: [s.n.],  
2012.

Orientador: Adriano Luiz Tonetti

Coorientador: Bruno Coraucci Filho.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo.

1. Lagoas de estabilização. 2. Plantas - Efeito do  
nitrogênio. 3. Agricultura - Aspectos ambientais. 4.  
Nitratos. I. Tonetti, Adriano Luiz. II. Coraucci Filho,  
Bruno, 1948-. III. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo. IV. Título.

Título em Inglês: Sludge sewage from facultative pond applied in rose bush

Palavras-chave em Inglês: Waste stabilization lagoons, Plants, effect of nitrogen on,  
Agriculture - Environmental aspects, Nitrates

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Denis Miguel Roston, Ricardo Franci Gonçalves

Data da defesa: 28-06-2012

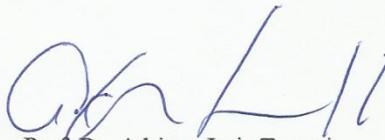
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Aplicação de lodo de lagoa facultativa em roseira**

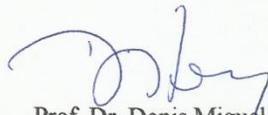
**Jorge Luiz da Paixão Filho**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

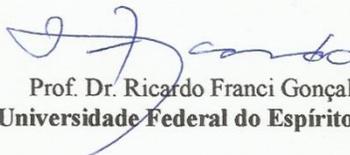


**Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti**

**Presidente e Orientador(a) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo**



**Prof. Dr. Denis Miguel Roston  
Faculdade de Engenharia Agrícola**



**Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves  
Universidade Federal do Espírito Santo**

Campinas, 28 de junho de 2012

### **Dedico**

Esse trabalho ao meu avô **Anôr da Silva Corrêa** que sempre amou as orquídeas. Querido avô, peço desculpa por não ter sido um bom jogador de futebol e ter acertado vários de seus vasos com suas belas orquídeas com minha bola de futebol. Que essa dissertação seja uma Rosa, linda e cheirosa, que te ofereço como meu agradecimento por tudo, obrigado.

## **Agradecimentos**

Agradeço a **Deus**,

Aos meus **familiares** e todos aqueles que  
contribuíram para realização desse  
**trabalho.**

“As flores foram criadas no mundo como símbolos da beleza, da pureza e da esperança.

As flores não parecem deixar a Terra para se lançar em direção a outros mundos?

As flores querem ser cuidadas por mãos esclarecidas; a inteligência é necessária para a sua prosperidade” (Revista Espírita, 1958).

## RESUMO

PAIXÃO FILHO, Jorge Luiz. **Aplicação de lodo de lagoa facultativa em roseira**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 88 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012.

A geração de lodo de esgoto (LE) é uma característica intrínseca do tratamento das águas residuárias por processos biológicos. Aliado a isso, o aumento do número de estações de tratamento de esgoto tem demandado soluções para a disposição econômica e ambientalmente segura para o lodo gerado. Um sistema amplamente utilizado no Brasil para o tratamento de esgoto desde a década de 80 são as lagoas de estabilização, no entanto ao longo desses anos o lodo gerado nesse sistema não tem recebido atenção, devido a baixa produção per capita e seu longo tempo de residência na lagoa. Uma opção com grande destaque no cenário nacional para sua disposição é a aplicação do lodo na agricultura como fonte de nutrientes em culturas com elevada necessidade de fertilizantes, tal como a roseira. Portanto, o objetivo desse trabalho foi estudar a aplicação do lodo da lagoa facultativa primária da cidade de Coronel Macedo (Estado de São Paulo) na cultura de roseiras variedade ‘Carola’, avaliando os efeitos sobre o desenvolvimento da planta. O experimento foi instalado em uma área experimental do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (UNICAMP), no município de Campinas-SP. As roseiras foram plantadas em baldes de 20 L, sendo o lodo incorporado na camada superficial do solo. Os parâmetros avaliados foram: a massa seca das raízes (MSR), a massa seca da parte aérea (MSPA), volume das raízes, área das folhas (AF) e concentração de nitrogênio no tecido foliar (NTF). Também foi estudada a quantidade de nitrato lixiviado e a fração de mineralização (FM) do lodo. A quantidade de lodo aplicada foi baseada na necessidade de nitrogênio da cultura, de acordo com o cálculo proposto pela resolução CONAMA 375/06. Os tratamentos foram: T1 - tratamento testemunha absoluta, T2 - 12 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo em base seca (BS), T3 - 24 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo BS (dose calculada), T4 - 36 Mg ha<sup>-1</sup> lodo BS e T5 - adubação mineral (100 kg N ha<sup>-1</sup>). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com seis repetições. Foi verificado que o aumento da dose de lodo aplicado na roseira aumentou a MSR, MSPA, AF e o NTF. O maior crescimento da roseira (MSR+MSPA) aconteceu nos tratamentos T4 e T5, com 93 e 104 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Houve um incremento na MSR na aplicação de LE na dose recomendada pela norma, de 14,00 e 34,00 g planta<sup>-1</sup> para T1 e T3 respectivamente. Na primeira análise a maior AF e NTF foi no T4 com 14,66 cm<sup>2</sup> e 21,43 g kg<sup>-1</sup>. A lixiviação de nitrato foi de aproximadamente 5% do nitrogênio total aplicado para os tratamentos com lodo (T2, T3 e T4) e de 10% na adubação mineral (T5). A FM do lodo da lagoa facultativa, determinada em incubação aeróbia, foi de 40%, valor acima do sugerido para lodo digerido anaerobiamente pela norma brasileira (FM = 20 %). Deste modo, a aplicação de lodo de esgoto na cultura da roseira proporcionou aumento nos valores dos parâmetros observados e para o cálculo da aplicação do lodo da lagoa em estudo o FM deve ser de 40%.

**Palavras chave:** Fração de Mineralização (FM), nitrogênio foliar, lagoas de estabilização, agricultura.

## ABSTRACT

PAIXÃO FILHO, Jorge Luiz. **Sludge sewage from facultative pond applied in rose bush.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 88 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012.

The sewage sludge (SS) generation is an intrinsic characteristic of the treatment of wastewater by biological processes. Allied to this, the increasing number of wastewater treatment plants has demanded solutions for the economical and environmentally safe disposal for the SS. A widely system used in Brazil for the wastewater treatment since years 80's is the stabilization ponds, however over the years the sludge generated in this system has not received attention owing the low production per capita and to long residence time in the pond. An option with great emphasis on the national stage for their disposal is the application in agriculture as a source of nutrients in crops with high demand for fertilizers, such as the rose bush. Therefore, the aim of this work was to study the application of sludge from the facultative lagoon from city Coronel Macedo (São Paulo State, Brazil) in cultured rose variety 'Carola', assessing the effects on plant development. The experiment was installed in an experimental area of Department of Sanitation and Environment, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Urbanism (UNICAMP) in Campinas-SP. The roses were planted in 20L buckets, the sludge being applied subsurface. The parameters evaluated were: root dry matter (RDM), the shoot dry mass (SDM), root volume, leaf area (LA) and nitrogen concentration in leaf tissue (NLT). Also studied was the amount of nitrate leaching and the mineralization fraction (MF) of the sludge. The amount of sludge was applied based on the need for nitrogen of the culture, according to the method proposed by CONAMA 375/06. The treatments were: T1 - absolute control treatment, T2 - 12 Mg ha<sup>-1</sup> sludge on a dry basis (DB), T3 - 24 Mg ha<sup>-1</sup> sludge DB (calculated dose), T4 - 36 Mg ha<sup>-1</sup> sludge DB and T5 - mineral fertilizer (100 kg N ha<sup>-1</sup>). The experimental design was randomized blocks with six replications. It was found that increasing the dose of sludge applied to the rose bush increased the RDM, SDM, LA and NLT. The largest growth of the rose (RDM + SDM) occurred in treatments T4 and T5, with 93 and 104 g plant<sup>-1</sup>, respectively. There was an increase in the RDM in the application of SS in the dose recommended by the standard of 14.00 and 34.00 g plant<sup>-1</sup> for T1 and T3, respectively. In the first analysis the largest LA and NLT was 14.66 cm<sup>2</sup> and 21.43 g kg<sup>-1</sup> in T4. Nitrate leaching was about 5% of total nitrogen applied to the sludge treatments (T2, T3 and T4) and 10% in mineral fertilizer (T5). MF the sewage sludge of facultative lagoon, determined by aerobic incubation, was 40% above the value suggested for anaerobically digested sludge by Brazilian standard (MF = 20%). Thus, the application of sewage sludge in the culture of rose provided to increase the observed parameters and for calculating the application of sewage sludge of facultative lagoons in agriculture MF should be 40%.

**Keywords:** Mineralization Fraction (MF), nitrogen in leaf tissue, wastewater stabilization ponds (WSP), agriculture.

## LISTA DE FIGURAS

	página
<b>Figura 3.1:</b> Esquema simplificado de uma lagoa facultativa. ....	20
<b>Figura 4.1:</b> Foto panorâmica da área de estudo .....	39
<b>Figura 4.2:</b> Delimitação da área de estudo com sombrite. ....	40
<b>Figura 4.3:</b> Corte transversal do esquema de vasos utilizados no plantio das roseiras e visão dos furos realizados no fundo do balde para drenagem do excesso de água.....	40
<b>Figura 4.4:</b> Deságue em BAG do lodo de Coronel Macedo.....	43
<b>Figura 4.5:</b> Esquema do delineamento experimental em blocos casualizados.....	46
<b>Figura 4.6:</b> Sistema de irrigação por microtubos. ....	47
<b>Figura 4.7:</b> Rosa SP, variedade ‘Carola’ .....	48
<b>Figura 4.8:</b> Folíolo da Rosa. ....	50
<b>Figura 4.9:</b> Cálculo da área do folíolo com o programa Autocad®. ....	50
<b>Figura 4.10:</b> Retirada do solo com jato de água corrente.....	51
<b>Figura 4.11:</b> Imagem de parte de uma raiz obtida no escâner de mesa.....	53
<b>Figura 4.12:</b> Unidade experimental da fração de mineralização do nitrogênio.....	54
<b>Figura 5.1:</b> Raízes de roseira: adubação mineral (T5); dose de lodo recomendada para a cultura (T3) e testemunha (T1).....	57

## LISTA DE TABELAS

página

<b>Tabela 3.1:</b> Classe de lodo segundo a Conama 375 de 2006.....	25
<b>Tabela 3.2:</b> Teor de nutrientes e carbono em lodo de esgoto no Brasil .....	27
<b>Tabela 4.1:</b> Caracterização física do solo. ....	38
<b>Tabela 4.2:</b> Característica química do solo .....	39
<b>Tabela 4.3:</b> Caracterização do lodo da cidade de Coronel Macedo operada pela SABESP. ....	42
<b>Tabela 4.4:</b> Valores de nitrogênio do lodo de esgoto após dois anos de deságue em BAG.....	44
<b>Tabela 5.1:</b> massa seca das raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), a relação MSR / MSPA e o volume das raízes nos diferentes tratamentos. ....	57
<b>Tabela 5.2:</b> Área média de cinco folíolos da roseira em diferentes épocas.....	61
<b>Tabela 5.3:</b> Análise do nitrogênio no tecido foliar de rosa ‘Carola’ .....	63
<b>Tabela 5.4:</b> Concentração de nitrato, volume de água lixiviada e quantidade de nitrato na água drenada nos vasos. ....	66
<b>Tabela 5.5:</b> Determinação da mineralização do nitrogênio de lagoa facultativa .....	68
<b>Tabela 5.6:</b> Teores de nitrogênio amoniacal determinado durante 126 dias. ....	71
<b>Tabela 5.7:</b> teores de nitrogênio nítrico determinado durante 126 dias .....	72
<b>Tabela 5.8:</b> Valores de pH durante o experimento de mineralização do nitrogênio .....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

<b>CEPAGRI</b>	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de Água
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Esgoto
<b>FEAGRI</b>	Faculdade de Engenharia Agrícola
<b>FM</b>	Fração de mineralização
<b>L</b>	Litro
<b>LE</b>	Lodo de esgoto
<b>Mg</b>	Mega grama
<b>mg</b>	Miligramas
<b>MSPA</b>	Massa seca da parte aérea
<b>MSR</b>	Massa seca de raízes
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Nitrogênio na forma de amônio
<b>N<sub>kj</sub></b>	Nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio orgânico + nitrogênio amoniacal)
<b>N<sub>m</sub></b>	Nitrogênio mineralizado
<b>N<sub>o</sub></b>	Nitrogênio orgânico
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Nitrogênio na forma de nitrato
<b>PRNT</b>	Poder relativo de neutralização total
<b>Sabesp</b>	Empresa de saneamento básico do Estado de São Paulo
<b>ST</b>	Sólidos totais
<b>SV</b>	Sólidos Voláteis
<b>TDH</b>	Tempo de detenção hidráulica
<b>UFES</b>	Universidade Federal do Espírito Santo
<b>UNICAMP</b>	Universidade Estadual de Campinas

## SUMÁRIO

	página
RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....	13
1 INTRODUÇÃO .....	16
2 OBJETIVOS .....	18
2.1 Objetivo geral .....	18
2.2 Objetivos específicos .....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
3.1 Lagoa de estabilização .....	19
3.1.1 Lodo de lagoa e sua destinação .....	21
3.2 Uso de lodo de esgoto na agricultura .....	26
3.2.1 Lodo de esgoto e estado nutricional de plantas .....	27
3.2.2 Matéria orgânica do lodo de esgoto e relações entre aspectos físicos do solo e sistema radicular de plantas .....	28
3.3 Mineralização do nitrogênio .....	31
3.3.1 Determinação da mineralização do nitrogênio .....	34
3.3.2 Lixiviação do nitrato .....	35
3.4 Floricultura e a cultura da rosa .....	36
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	38
4.1 Localização do experimento .....	38
4.2 Solo .....	38
4.3 Montagem do experimento .....	39
4.4 Característica do Lodo de Esgoto .....	41
4.5 Taxa de aplicação do lodo de esgoto em roseira .....	43
4.6 Tratamentos e delineamento experimental .....	45
4.7 Sistema de irrigação .....	46
4.8 Cultura escolhida .....	47
4.9 Plantio da cultura .....	48

4.10	Análises de nitrogênio das folhas .....	49
4.11	Análise do desenvolvimento da roseira.....	49
4.11.1	Área do folíolo .....	49
4.11.2	Matéria seca das raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA).....	51
4.11.3	Análise do sistema radicular .....	52
4.12	Análise de nitrato do lixiviado.....	53
4.13	Determinação da fração de mineralização de nitrogênio do lodo em laboratório .....	54
4.13.1	Determinação do nitrogênio inorgânico .....	55
4.14	Análise estatística.....	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
5.1	Biomassa.....	56
5.2	Área das Folhas.....	60
5.3	Análise de nitrogênio nas folhas .....	62
5.4	Lixiviação do nitrato .....	65
5.5	Taxa de mineralização do nitrogênio do lodo de lagoa facultativa.....	68
6	CONCLUSÃO.....	73
7	Recomendações .....	74
	Referência.....	75
	Anexo 1 .....	87
	Anexo 2 .....	88

# 1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida da população nas cidades melhorou com a adoção de medidas de transporte e tratamento dos resíduos produzidos diariamente. Essas medidas recebem a denominação de saneamento básico e compreendem as seguintes barreiras sanitárias: coleta e tratamento dos resíduos sólidos, coleta e tratamento do esgoto, coleta e tratamento de água, drenagem das águas pluviais e controle de vetores. As medidas de saneamento básico não foram implementadas todas em conjunto, áreas como o tratamento de água recebeu uma maior atenção ao longo da história enquanto que o tratamento das águas residuárias foi muito inferior ao necessário. A ausência do tratamento do esgoto sanitário tem comprometido a qualidade da água no manancial e causa um aumento no custo de tratamento dessa água nas estações de tratamento de água (ETA). Para sanar esse problema o Brasil vem implementando estações de tratamento de esgoto (ETE) que retiram as impurezas da água através de mecanismos físico, químicos e biológicos, que geram o lodo de esgoto (LE), um resíduo sólido com características consoantes com o material de origem e com o processo de tratamento adotado.

O volume de esgoto tratado cresceu significativamente no Brasil nos últimos anos, surgindo assim uma demanda para destinação adequada do lodo gerado nas ETE brasileiras, a qual deverá ser ambientalmente correta e economicamente viável.

Um sistema de tratamento de esgoto muito utilizado no Brasil são as lagoas estabilização, sendo a primeira lagoa construída na cidade de São José dos Campos (SP) em 1975, servindo como base para o dimensionamento de outros projetos semelhantes (JORDÃO e PESSOA, 1975). No passado, os projetistas que implementaram as lagoas no Brasil tinham a concepção errônea de que não era necessária a remoção do lodo gerado (HESS, 1975), mas, com o passar dos anos as empresas de saneamento perceberam que a eficiência das lagoas diminuía com o aumento do lodo depositado no fundo da lagoa, o qual reduzia o tempo de detenção hidráulica (TDH), comprometendo a eficiência do sistema (ITO, 2001), sendo que até recentemente somente havia a preocupação com os sistemas que produziam lodo em grande quantidade e necessitavam de remoções frequentes, como o processo de lodos ativados.

A gestão dos resíduos sólidos produzidos nas ETE sempre foi um problema para as empresas de saneamento devido alto custo envolvido, tanto para a remoção de umidade do lodo, para sua estabilização, transporte e disposição final. Uma alternativa para a disposição do lodo de lagoas é o seu uso na agricultura, pois evita o custos com disposição em aterros ou incineração, além de proporcionar nutrientes como nitrogênio e fósforo para as plantas e matéria orgânica para o solo. Uma cultura que está em ascensão no mercado, cuja aplicação de LE minimizaria a utilização de fertilizantes, e que ainda não foi estudada é a roseira.

França (2010) avaliou as características microbiológicas e os compostos inorgânicos do lodo de esgoto da lagoa facultativa da Cidade Coronel Macedo (SP) e concluiu que esse estava apto para a disposição no solo. No entanto, o autor não estudou a fração de mineralização (FM) do lodo, a qual é essencial no cálculo da determinação da quantidade de lodo a ser aplicada na agricultura de acordo com a resolução 375 de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 375/06), tanto para atender a necessidade da cultura quanto para evitar o excesso de nitrato no solo e conseqüentemente contaminação de águas subterrâneas.

Diante do exposto, são necessários novos estudos que contribuam para utilização de LE pelos produtores de rosas no Brasil. Assim, a proposta desse trabalho foi avaliar a aplicação do LE de lagoa facultativa primária em roseira na fase de formação e determinar a FM do lodo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da aplicação de lodo de esgoto de lagoa facultativa primária da cidade de Coronel Macedo (SP) em roseira da variedade 'Carola' na fase de formação e comparar com a adubação convencional.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a influência de doses crescentes de lodo de esgoto sobre os aspectos da roseira, tamanho das folhas, massa seca de raízes, massa seca da parte aérea e volume de raízes;
- Avaliar a lixiviação de nitrato na água drenada;
- Avaliar a concentração de nitrogênio no tecido vegetal em diferentes épocas do ano; e,
- Determinar a fração de mineralização (FM) do lodo da lagoa facultativa primária da cidade de Coronel Macedo-SP.

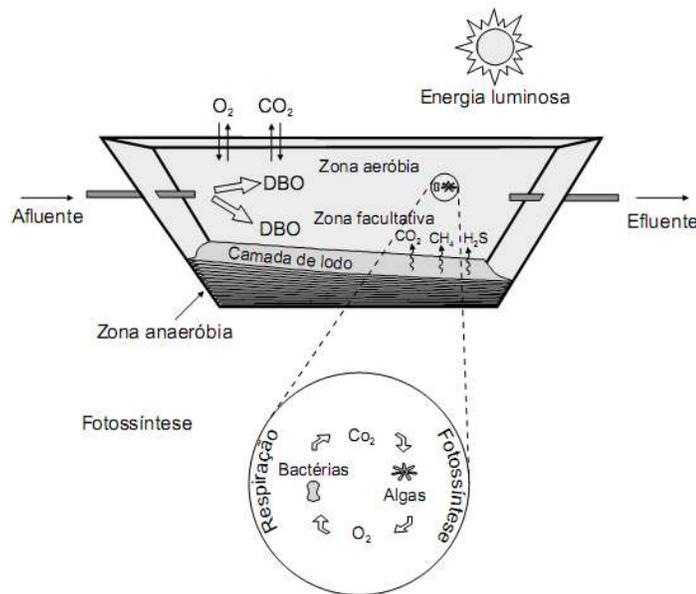
### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O lançamento de águas residuárias com características físico, químicas e biológicas acima da capacidade de autodepuração dos rios gera um desequilíbrio ecológico. Para evitar essa situação é necessário o tratamento dessas águas residuárias em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), as quais reproduzem, de certa maneira, os processos naturais que ocorrem nos corpos de água, como as lagoas de estabilização, sistema muito utilizado devido ao clima adequado e ao baixo custo (VON SPERLING, 1996).

#### 3.1 LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

O tratamento das águas residuárias em lagoas é provavelmente o mais antigo conhecido pelos seres humanos. Pode ter surgido por razões particulares, acidentais ou de emergência para a finalidade de dispor os efluentes, constituindo-se assim a forma mais simples para o tratamento do esgoto (VON SPERLING, 2002; AZEVEDO NETTO, 1975; BITTON, 2005).

As lagoas são definidas como um corpo de água lântico, construído para o tratamento de resíduos líquidos de natureza orgânica, como o esgoto sanitário. O esgoto afluente entra em uma extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta, sendo que esse percurso demora vários dias e o tratamento é realizado por processos naturais físico, químico e biológicos (VON SPERLING, 2002; UEHARA, 1989). Tipicamente as lagoas facultativas são divididas em três zonas: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa (Figura 3.1).



**Figura 3.1:** Esquema simplificado de uma lagoa facultativa. Fonte Von Sperling (2003)

As lagoas são classificadas segundo a atividade biológica predominante em aeróbia, anaeróbia e facultativa (UEHARA, 1989). As lagoas aeróbias apresentam oxigênio dissolvido em todo o meio, sendo esse proveniente da transferência de gases com a atmosfera e pela produção das algas. As lagoas facultativas apresentam o ambiente aeróbio na superfície, anaeróbio no fundo e na interface entre esses dois ambientes desenvolvem-se organismos facultativos que sobrevivem tanto na presença como na ausência de  $O_2$ . E por último as lagoas anaeróbias, em que a degradação das substâncias orgânicas ocorre na ausência de  $O_2$  e apresenta como característica profundidades de 3,0 a 4,5 m (KELLNER e PIRES, 1998).

As lagoas apresentam boa remoção de matéria orgânica, custo de operação baixo e simplicidade operacional, adequadas para países de clima quente como o brasileiro (GONÇALVES, 1999; MARA, 2008). No Brasil a primeira lagoa construída foi na cidade de São José dos Campos – SP, em uma associação de uma lagoa anaeróbia e outra aeróbia (JORDÃO e PESSOA, 1975). Os resultados obtidos para esse caso respaldaram o crescimento de seu uso no país (MEDRI; COSTA; MEDRI, 2006).

Segundo dados da pesquisa nacional de saneamento básico, em 2008 o percentual de municípios que utilizam lagoas para o tratamento de esgotos sanitários foi de 27,33% (IBGE, 2010). As variantes consideradas foram lagoa anaeróbia, lagoa aeróbia, lagoa facultativa, lagoa mista e lagoa de maturação e os percentuais de uso são respectivamente 7,25; 2,35; 12,08; 1,17 e 4,48. Na América Central é crescente o número de lagoas, onde segundo Oakley *et al.* (2000) foram construídas 34 lagoas nos últimos 15 anos. Por sua vez, no Estado de São Paulo o tratamento de esgotos por lagoas é mais comum no interior do estado, onde há disponibilidade de grandes áreas para sua instalação (ITO, 2001).

### 3.1.1 Lodo de lagoa e sua destinação

Uma característica importante das lagoas facultativas é o acúmulo de lodo em seu fundo durante toda operação, não sendo necessária a remoção em períodos de tempo curto, recebendo uma importância secundária seu gerenciamento (VON SPERLING, 2002; GONÇALVES, 1999b).

A gestão do lodo é raramente considerada como parte integrante do processo de lagoas (NELSON *et al.*, 2004) assim o benefício alcançado pelo tratamento do esgoto pode ser anulado pela disposição inadequada desse resíduo. Em uma pesquisa nacional realizada pela UFES (Universidade Federal do Espírito Santo) em 1997 concluiu-se que o lodo raramente é retirado das lagoas e nos casos em que houve sua retirada a forma de disposição foi inadequada, dando-se em áreas próximas às ETE ou em córregos (GONÇALVES, 1999a).

Nos primórdios da concepção do sistema de lagoas os projetistas tinham como conceito que as lagoas, aeróbia e facultativa, tinham a vantagem de não dependerem da remoção de lodo (HESS, 1975). Essa concepção errônea com o passar dos anos levou a uma diminuição da eficiência das lagoas. A empresa de saneamento básico do Estado de São Paulo (Sabesp), em 2001, ao fazer um levantamento concluiu que havia lagoas em operação por mais de 10 anos sem a remoção do lodo (ITO, 2001). O volume útil ocupado pelo lodo compromete a eficiência do tratamento e, por isso, a remoção deste material tornou-se uma das principais preocupações das empresas de saneamento nos últimos anos (ITO, 2001).

Alguns autores colocam que o longo período (5-15 anos) em que o lodo fica na lagoa contribui para uma negligência no gerenciamento do lodo (GONÇALVES, 1999; GONÇALVES; LIMA; PASSAMANI, 1999) e para agravar essa situação são escassos na literatura artigos sobre a retirada e características de lodos de lagoas (FRANÇA, 2010).

Para compreender melhor a origem do lodo na lagoa é necessário saber como ele é formado, em que ambiente ocorrem suas transformações, quais são suas características e sua taxa de acumulação, entre outros. O conhecimento prévio das características do lodo ajudará a propor uma melhor maneira de dispor esse “resíduo” no ambiente.

O lodo de esgoto é composto pelo material que se deposita no fundo da lagoa ao longo dos anos de funcionamento, sendo constituído por compostos orgânicos e inorgânicos aportados pelo esgoto, além de microrganismos e subprodutos de suas atividades (GONÇALVES, 1999b). O acúmulo do lodo no fundo depende diretamente das características do esgoto, do estado de conservação e operação da rede coletora e da eficiência da etapa de pré-tratamento da ETE (GONÇALVES, 1999b). O acúmulo é mais acelerado nos primeiros anos de operação e diminui consideravelmente ao longo do tempo (GONÇALVES, 1999b), sendo decomposto anaerobiamente e gerando um material mais estável, além de dióxido de carbono e metano (KELLNER e PIRES, 1998).

O lodo de lagoa apresenta características peculiares devido ao seu longo tempo de permanência, o que permite que seja adensado e digerido anaerobiamente (GONÇALVES; LIMA; PASSAMANI, 1999; NELSON *et al*, 2004). Nelson *et al*, (2004) sugerem que novos estudos devem abranger as transformações das características do lodo ao longo do tempo na lagoa, devido à ocorrência de fenômenos de degradação anaeróbia, compressão e inativação de microrganismos no fundo da lagoa.

Estudos de caracterização de lodos de lagoas no Espírito Santo mostraram que devido ao elevado tempo de retenção na lagoa o lodo apresenta uma estabilização avançada e teores de macronutrientes relativamente baixos quando comparado com lodo oriundo de outros sistemas de tratamento (GONÇALVES; LIMA; PASSAMANI, 1999). Esse grau de estabilização é uma característica importante quando se objetiva seu uso agrícola. A quantidade de nutrientes no lodo

é influenciada pelo processo de digestão, sendo que geralmente o lodo digerido anaerobiamente tem menos nutriente do que o lodo que sofreu digestão aeróbia (PROSAB, 1999).

Na legislação brasileira, para o uso do lodo na agricultura a resolução do CONAMA 375/06 estabelece que fração de mineralização (FM) do nitrogênio do lodo seja estabelecida em função do processo de estabilização empregado, os quais são utilizados para redução biológica do conteúdo de sólidos voláteis (SV), oxidação química da matéria orgânica e inativação de microrganismos. Para avaliar os teores de matéria orgânica no lodo é utilizada a concentração de SV, sendo que lodos que apresentam elevada concentração de sólidos voláteis e baixa concentração de sólidos totais (ST) necessitam de um processo de estabilização para aplicação na agricultura (GONÇALVES; LIMA; PASSAMANI, 1999).

No lodo de lagoa de estabilização os valores de SV e ST apresentam variações horizontal e verticalmente, conforme a altura de sua camada (NELSON *et al*, 2004; GONÇALVES; LIMA; PASSAMANI, 1999). A mineralização é maior no fundo da lagoa (KONATE *et al*, 2010). Námeche *et al* (1997), avaliando a concentração de ácidos húmicos em lodos de lagoas aeradas e facultativas, concluíram que lodo gerado não era estabilizado devido à baixa concentração de ácidos húmicos. Naval e Silva (2001) estudaram lodo do sistema de lagoas de Palmas (TO), concluindo que não apresentava alto grau de estabilização e baixa concentração de nutrientes (N = 1,4% e P = 0,8%), no entanto o autor não menciona o tempo que o lodo ficou na lagoa.

O lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto brasileira está sendo disposto de modo errado causando danos ambientais. Segundo informações do Plano Nacional de Saneamento Básico de 2008 somente 12% dos municípios brasileiros dispõem corretamente o lodo gerado (IBGE, 2010). As principais alternativas para sua destinação são a sua disposição em aterro sanitário ou em aterro exclusivo, incineração, co-processamento em forno de cimento e formas de disposição no solo, como a recuperação de áreas degradadas, uso como fertilizante em culturas ou condicionador de solo, reflorestamento e *land farming* (PROSAB, 1999).

Dentre essas alternativas, a disposição no solo é a alternativa que proporciona melhores resultados, ambientalmente correta e economicamente viável. A incineração é viável para grandes

centros urbanos com estação de tratamento de esgoto que apresente uma elevada geração de lodo (WERTHER e OGADA, 1999).

As lagoas de um modo em geral apresentam uma baixa produção de lodo ( $6-10\text{g SS hab}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) quando comparada com o sistema de lodo ativado ( $35-45\text{g SS hab}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) e os municípios que adotam o processo de tratamento por lagoas são geralmente pequenos inviabilizando a incineração (VON SPERLING E GONÇALVES, 2001).

FRANÇA *et al*, (2010b), em um estudo realizado sobre a viabilidade de três destinos para o lodo de lagoa, (aterro sanitário, co-processamento em forno de cimento e disposição em solo agrícola), concluíram que a melhor opção foi à disposição no solo, a qual teve um custo de R\$ 135,00 por tonelada, vindo em seguida à disposição em aterro sanitário, com o custo de R\$ 160,00 por tonelada e, por último, o co-processamento a um custo de R\$ 240,00 por tonelada .

Para garantir que a aplicação do lodo de esgoto na agricultura não cause danos ao ambiente é necessária uma normatização específica, de acordo com as condições ambientais, edafoclimáticas, sociais e econômicas de cada região ou país (SANTOS, 2001).

Recentemente no Brasil foi publicada a resolução CONAMA 375/06 que define os procedimentos e critérios para a disposição agrícola do lodo de esgoto. Na seção III dessa norma são definidos os requisitos mínimos de qualidade necessários para a destinação de lodo de esgoto na agricultura, sendo esses; i) substâncias inorgânicas (Ar, Cd, Ba, Pb, Cu, Cr, Mg, Ni, Se, Zi, Mo); ii) Agentes patogênicos (Coliforme termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, salmonela, vírus). Essas substâncias devem estar presente em uma concentração a abaixo do estabelecido na norma.

A concentração máxima de substâncias inorgânicas no lodo de lagoa é muito abaixo do estabelecido pela legislação (MULLER; PASSAMINI; GONÇALVES, 1999) fato esperado, por conseguinte a utilização de lagoas é predominante em pequenos municípios e o esgoto tratado tem características domésticas. Em pesquisa realizada em dez lagoas anaeróbias na região sul da Espanha o lodo avaliado não apresentou metais pesados acima do permitido pela legislação desse país e da união europeia (ALONSO *et al*, 2006). Comparando a especiação de metais pesados em

seis lodos de diferentes sistemas de tratamento, Fuentes *et al*, (2008) concluíram que os metais pesados presentes no lodo de lagoa de estabilização não estão biodisponíveis e que essa biodisponibilidade é influenciada pelo grau estabilização do lodo.

Dos requisitos mínimos, substâncias inorgânica, o lodo de lagoa facultativa geralmente apresenta condições para a aplicação na agricultura. O outro fator importante nessa norma são os agentes patogênicos. O sistema de lagoas apresenta uma ótima eficiência de remoção de ovos de helmintos pelo processo de sedimentação e inativação (VON SPERLING *et al*, 2003). França (2010) observou que a viabilidade dos ovos de *Ascaris Lumbricóide* foi baixa no lodo lagoa de Coronel Macedo (SP) antes da retirada do lodo.

No tocante as características microbiológicas a legislação brasileira classifica o lodo nas duas classes apresentadas na Tabela 3.1 (CONAMA, 2006).

**Tabela 3.1:** Classe de lodo segundo a Conama 375 de 2006.

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

Nelson *et al* (2004), avaliando o lodo de duas lagoas no México, Mexicaltzingo (primária facultativa, 5 anos de operação) e Xalostoc (primária facultativa, 15 anos de operação) avaliou que ambos os lodos são classe B. No Brasil a aplicação de lodo de esgoto classe B na agricultura somente foi permitida até o ano de 2011, sendo que a partir dessa data somente é permitido uso de esgoto classe A.

O lodo da cidade de Coronel Macedo (SP) depois de três meses de sua retirada e seu acondicionamento em BAG apresentou característica de lodo tipo A, podendo ser aplicado na agricultura (FRANÇA, 2010), pois após seis meses de deságue em BAG foi observado a ausência de ovos viáveis de helmintos, protozoários e *salmonella* (FRANÇA *et al*, 2011).

### 3.2 USO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA

A produção de lodo é uma característica dos processos de tratamento de esgoto e o seu gerenciamento é uma etapa essencial. O lodo de esgoto contém parte da fração sólida do esgoto bruto e os sólidos produzidos durante o tratamento da água residuária (NRC, 1996), constituído-se de mais de 95% de água (VON SPERLING, 1996). Seu uso agrícola é uma forma suplementar o fornecimento de nitrogênio e fósforo para as plantas (NRC, 1996).

Nos EUA são produzidos cerca de 5,6 milhões de toneladas de lodo seco por ano e aproximadamente 60% são aplicados no solo como fertilizante (NRC, 2002). Já no Brasil, ainda não existem dados precisos sobre sua disposição na agricultura (BARBOSA e TAVARES FILHO, 2006).

O lodo de esgoto contém macro, micronutrientes e matéria orgânica que exercem fundamental papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (TSUTIYA, 2001). A presença desses elementos no lodo depende do processo de tratamento adotado e de sua origem (doméstico, industrial) (ANDREOLI; PEGORINI, FERNANDES, 2001). A Tabela 3.2 apresenta os valores de nutrientes do lodo de esgoto dos respectivos processos adotados.

**Tabela 3.2:** Teor de nutrientes e carbono em lodo de esgoto no Brasil. Fonte: Andreoli *et al*, (2001) (modificado).

Estação	Tipo de lodo	N	P	K	C <sub>org</sub>	Ca
Barueri (SP)	Lodo ativado	2,25	1,48	0,01	21,00	7,29
Franca (SP)	Lodo ativado	9,15	1,81	0,35	34,00	2,13
Belém (PR)	Lodo ativado	4,19	3,70	0,36	32,10	1,59
UASB (PR)	Anaeróbio	2,22	0,67	0,95	20,10	0,83
Eldorado (ES)	Lagoa anaeróbia	2,00	0,20	0,04		
Mata da Serra (ES)	Lagoa facultativa primária	2,00	0,20	0,05		
Valparaíso (ES)	Lagoa de sedimentação	4,00	3,5	0,07		
Coronel Macedo (SP)	Lagoa facultativa primária	1,42	0,37	0,02		

O nitrogênio é o elemento mais exigido pelas culturas agrícolas e, devido ao seu elevado teor no lodo de esgoto, é determinante para o aproveitamento desse material na agricultura (RAIJ, 1991; FERREIRA e ANDREOLI, 1999). Quanto ao fósforo (P) e potássio (K), suas concentrações estão abaixo do recomendado para as culturas agrícolas, demandando uma suplementação. Em estudo com aplicação de lodo de esgoto em cana-planta o lodo forneceu 30% do recomendado para P e 100% de N (FRANCO, 2009), na aplicação na cultura do eucalipto o lodo supriu 100% de N e 66 % de P (FIRME, 2009). Estes resultados demonstram que a aplicação de lodo contribui para a economia de fertilizantes comerciais preservando os recursos naturais (DYNIA; SOUZA; BOEIRA, 2006).

### 3.2.1 Lodo de esgoto e estado nutricional de plantas

O estado nutricional de plantas pode ser analisado pelos teores de nutrientes em órgãos específicos como folha, raízes, caule e flores. A análise de folhas baseia-se no princípio de que se

o solo é rico em um elemento, o teor deste elemento nas folhas também será alto (MALAVOLTA, 1989). Na folhas ocorrem vários processos fisiológicos e sua análise serve como base do estado nutricional das plantas (RAIJ, 1991). Doses crescentes de lodo de esgoto influenciaram significativamente a intensidade da cor verde da grama esmeralda e aumento nos teores de P nas folhas mesmo quando comparado com a adubação fosfatada (BACKES, 2008).

A aplicação de lodo de esgoto melhora a absorção de outros nutrientes, não somente de nitrogênio que está presente em maior quantidade no lodo. Chiba; Mattiazo e Oliveira (2008) encontraram em um argissolo cultivado com cana de açúcar que recebeu aplicações de lodo que houve maiores teores de P nas folhas. Na pesquisa com biossólidos nas taxas de 0,7; 18; 34 e 90 Mg ha<sup>-1</sup> em base seca houve um aumento da área foliar da gramínea (*Bouteloua gracilis*) (MATA-GONZALEZ *et al*, 2002).

Outro aspecto correlacionado com o estado nutricional das plantas é a produtividade. Na cultura do girassol a aplicação de lodo de esgoto proporcionou incremento na produtividade de grãos (LOBO; GRASSI FILHO, 2007). Outras pesquisas também demonstraram os aspectos benéficos da aplicação de lodo de esgoto na agricultura e em diversas culturas, como a cana de açúcar (FRANCO, 2009), milho (BARBOSA *et al*, 2007), café (GONÇALVES, 2005), feijão (GADIOLI e FORTES NETO, 2004), arroz (OLIVEIRA *et al*, 2005), algodão (ALCÂNTRA *et al*, 2003), eucalipto (GUEDES, 2005), grama esmeralda (BACKES *et al*, 2009), girassol (LOBO e GRASSI FILHO, 2007), sorgo (OLIVEIRA *et al*, 1995) e mamoeiro (COSTA *et al*, 2001).

É importante destacar que uma cultura que está em ascensão no mercado e que ainda não recebeu atenção quanto ao seu cultivo com a aplicação de lodo de esgoto é a roseira. Essa prática tem a vantagem de as flores não serem comestíveis, diminuindo o risco da chegada de contaminantes ao homem.

### 3.2.2 Matéria orgânica do lodo de esgoto e relações entre aspectos físicos do solo e sistema radicular de plantas.

Os teores de matéria orgânica no lodo de esgoto variam de 35 a 80% e sua aplicação no solo permite a incorporação de uma quantidade expressiva de matéria orgânica (MELFI e

MONTES, 2000). Sua aplicação influencia as propriedades físicas do solo, tais como: densidade, estrutura, capacidade de retenção de água. Solos altamente intemperizados como os da região tropical, a matéria orgânica promove a retenção de cátions e liberação de nutrientes como o nitrogênio (MELO; MARQUES; MELO, 2001).

Vários estudos demonstraram os efeitos positivos da aplicação de lodo de esgoto sobre as propriedades físicas do solo: densidade (VEGA *et al*, 2005); aumento da macroporosidade e diminuição da microporosidade (DE MARIA *et al*, 2010) e redução da dispersão de argilas em água (FILIZOLA *et al*, 2006). A disposição de lodo de esgoto no solo favorece a formação de agregados, facilita a penetração das raízes e a vida microbiana pela elevada quantidade de matéria orgânica (TSUTIYA, 2001) e, além disso, proporciona uma menor perda de água por escoamento superficial, já que ocorre um aumento da infiltração (MACEDO *et al*, 2006).

A aplicação de lodo de esgoto tem consequências variadas para o sistema solo-planta (raízes), a matéria orgânica do lodo melhora a estrutura física do solo através da agregação das partículas melhorando o desenvolvimento do sistema radicular, no entanto pode ocorrer menor desenvolvimento do sistema radicular por causa do aumento da disponibilidade de nutrientes fornecido pelo lodo próximos das raízes, reduzindo assim o número de raízes finas que são responsáveis pela absorção de nutrientes e água.

O estudo do sistema radicular e seu desenvolvimento podem aperfeiçoar o uso racional de fertilizantes e água, minimizando os impactos negativos da agricultura no meio ambiente (VAN NOORDWIJK; BROUWER; HARMANNY, 1993). Na aplicação de lodo de esgoto na agricultura o conhecimento prévio do sistema radicular evitaria perdas significativas de nutrientes, como o nitrato, que é facilmente lixiviado no perfil do solo.

No trabalho desenvolvido por Vega *et al* (2005), o uso de lodo de esgoto na cultura da pupunheira alterou a densidade de raízes positivamente e ocorreu um aumento da biomassa radicular proporcional à dose de lodo aplicada. Nas doses de lodo duas e quatro vezes superiores ao recomendado para a cultura houve um aprofundamento do sistema radicular e uma ampliação da quantidade de raízes finas. Quanto maior o desenvolvimento do sistema radicular, maior a capacidade competitiva de uma planta pela retirada de água e nutrientes (BOUMA *et al*, 2000).

Por sua vez, BACKES *et al* (2010) e MARTINS *et al* (2004) encontraram que doses elevadas de lodo de esgoto promoveram redução do sistema radicular de grama esmeralda e do eucalipto. Especificamente quanto ao eucalipto, o aumento das doses de biossólido diminuiu a densidade, o diâmetro e a superfície específica de raízes finas, quando comparado com o tratamento testemunha (MARTINS *et al*, 2004). Destaca-se que quando o objetivo é avaliação do sistema radicular os experimentos em vasos são recomendados (RAIJ, 1991).

Quando é utilizada cal para estabilizar o lodo de esgoto esse é chamado de lodo calado e sua aplicação na agricultura é condicionada na elevação do pH do solo, que não pode ultrapassar o valor de 7,0 (CONAMA, 2006). O tratamento com cal reduz a concentração de nitrogênio pela volatilização da amônia com o aumento da temperatura e pH (PINTO, 2001). Segundo Chiba *et al* (2008) lodos que receberam estabilização por cal quando adicionados ao solo tendem a atuar primeiro sobre o pH do solo, já que os solos brasileiros são ácidos. Na avaliação do sistema radicular, ALCÂNTRA *et al* (2003) encontrou que a incorporação de dois tipos de lodo de esgoto (seco e calado) não proporcionou aumento da fitomassa radicular do algodoeiro herbáceo. O desenvolvimento do sistema radicular das plantas pode estar ligado a atributos do solo como menor concentração de alumínio e maior concentração de fósforo e cálcio (FERRAZ, 2009). Por isso a calagem do solo ou a caleação do lodo pode interferir no melhoramento do sistema radicular.

Além dos efeitos sobre os atributos físicos do solo e sobre o desenvolvimento radicular das plantas, a aplicação do lodo influencia a matéria orgânica nativa do solo. Um papel primordial é desenvolvido pela matéria orgânica do solo influenciando a nutrição de plantas e produtividade agrícola (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

O conhecimento prévio das características do lodo como a relação C/N está ligada a sua degradação pelos microrganismos do solo e contribui para a previsão de seu comportamento no solo (BOEIRA; LIGO e DYNIA, 2002). Os fenômenos envolvidos com a disposição de matéria orgânica no solo são: mineralização e imobilização. A disponibilidade de nutrientes presentes no lodo para a planta ocorre pela mineralização da matéria orgânica e a “retirada” do nutriente do solo para os microrganismos é chamada de imobilização, esses processos são influenciados pela relação carbono e nitrogênio (C/N) do resíduo, fatores inerentes ao crescimento microbiano,

qualidade e taxa de aplicação do resíduo orgânico (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Geralmente se a relação C/N <20 ocorre o processo de mineralização e se C/N >30 ocorre a imobilização (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). A mineralização da matéria orgânica do lodo de esgoto é dependente da origem do lodo e do processo de tratamento utilizado (BOEIRA; LIGO; DYNIA, 2002).

Pesquisas sobre a taxa de mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto em condições de solos tropicais são restritas e em número reduzido (ANDRADE *et al*, 2010). A origem e o sistema de tratamento dos lodos mais estudados no Brasil são da cidade de Barueri e Franca, sendo que ambos foram digeridos anaerobiamente (BOEIRA; LIGO; DYNIA, 2002; VIEIRA e CARDOSO, 2003), ETE de Jundiaí com lagoas aeradas e lagoas de decantação (GONÇALVES, 2005) e lodo ativado com aeração prolongada (CAS, 2009). Não existe na literatura a fração de mineralização para lodo de lagoa, fazendo-se necessária a realização dessa pesquisa em condições ambientais e de solos do nosso país.

### 3.3 MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO

O nitrogênio no lodo de esgoto de modo geral está presente, em grande parcela, na forma orgânica e não sendo disponível para as plantas (BOEIRA e MAXIMILIANO, 2004), podendo corresponder de 70 a 90% do nitrogênio total, dependendo do tipo de lodo, da sua idade e processo de digestão (ANDREOLI *et al*, 2001). Para que ocorra sua disponibilização quando aplicado ao solo é necessário sua mineralização, gerando formas minerais como amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Nesse processo de transformação as formas orgânicas (proteínas, aminoácidos, peptídeos e outros) são convertidas em minerais,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ . A primeira etapa é chamada de amonificação, transformação do nitrogênio da forma orgânica em  $\text{NH}_4^+$  e a etapa subsequente é a conversão da amônia em nitrato, processo chamado de nitrificação, realizada por dois grupos de bactérias autotróficas, *nitrossomas* e *nitrobacter* (BENBI e RICHTER, 2002).

Desse modo, um parâmetro importante que deve ser determinado é a fração de mineralização do nitrogênio orgânico ao longo do tempo (PARKER e SOMMERS, 1983), pois

fornece informações da quantidade de lodo que pode ser aplicado ao solo para suprir a necessidade de nitrogênio da cultura sem causar problemas ambientais pela lixiviação de nitrato.

A possibilidade da contaminação do lençol freático e cursos de água pelo uso inadequado do lodo referem-se à contaminação por nitrato, que em excesso na água pode causar problemas na saúde do homem e dos animais (DYNIA; BOEIRA; SOUZA, 2006). Esse composto é um íon de baixa capacidade de retenção no solo e passível de lixiviar para o lençol freático caso sua quantidade seja superior à capacidade de absorção das plantas ou esteja abaixo da zona de raízes (ANDREOLI e CARNEIRO, 2002).

No Brasil o valor máximo permitido na água potável é de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de N na forma nitrato (BRASIL, 2004) e para evitar sua geração em excesso no solo é necessário conhecer os fatores que interferem no processo de mineralização do nitrogênio.

Para isso, o estudo da dinâmica do resíduo em condições laboratoriais simula a aplicação no campo e auxilia na prevenção de problemas ambientais potenciais do uso de resíduos orgânicos na agricultura (COSCIONE E ANDRADE, 2006). Esses estudos definem fatores importantes para a aplicação do resíduo no solo como a fração mineralização (FM) do nitrogênio orgânico e a biodegradação da matéria orgânica.

A quantidade de N mineralizado da matéria orgânica do lodo de esgoto depende das seguintes características (Andreoli *et al*, 2001; Boeira *et al*, 2002):

- i) Lodo, material de origem, processo de tratamento utilizado, substâncias tóxicas;
- ii) Condições ambientais, temperatura e umidade; e
- iii) Característica do solo, atividade microbológica do solo, tipo de solo.

Boeira (2009) avaliou a taxa de mineralização de dois lodos, ETE Barueri e ETE Franca, submetidos ao mesmo processo (digestão anaeróbia), como resultado encontrou que ambos

apresentaram diferentes potenciais de mineralização tendo sido explicado pela diferença das características dos lodos estudados, o primeiro de origem industrial e doméstico, o segundo predominante doméstico. As propriedades físicas, químicas e biológicas dos diferentes tipos de solos também influenciam as taxas de mineralização do nitrogênio orgânico dos resíduos (BOEIRA, 2005). Assim, é de grande importância que a análise de mineralização seja realizada em solo específico onde será feita a aplicação do lodo de esgoto (BOEIRA, 2005).

A resolução CONAMA 375/06 padronizou o FM para o cálculo do nitrogênio disponível no lodo em quatro classes conforme o processo de digestão sofrido pelo lodo. As classes são:

- Lodo de esgoto não digerido (FM = 40%)
- Lodo de esgoto digerido aerobiamente (FM = 30%)
- Lodo de esgoto digerido anaerobiamente (FM = 20%)
- Lodo de esgoto compostado (FM = 10%)

Alguns autores afirmam que a norma brasileira é baseada na norma americana, visto que é pequeno o número de pesquisas sobre a fração de mineralização em condições brasileiras (ANDRADE *et al*, 2010). A adoção dos valores americanos para as condições brasileiras pode trazer problemas ambientais, já que em condições subtropicais e tropicais as perdas (lixiviação) de nutrientes como o N e K são possivelmente maiores (MALAVOLTA, 2006).

Boeira (2009) realizou análise de mineralização do nitrogênio em colunas de lixiviação e encontrou valores de 26% (ETE Franca) e 46% (ETE Barueri), valores esses acima do estipulado pela norma para lodo digerido anaerobiamente (FM = 20%). Em outro experimento conduzido em incubação aeróbia sem lixiviação com os mesmos lodos a taxa estimada de mineralização foi de 31% (BOEIRA *et al*, 2002).

### 3.3.1 Determinação da mineralização do nitrogênio

A determinação da mineralização do nitrogênio pode ser realizada em laboratório ou campo, e os métodos de determinação em laboratório são incubações, com meio aeróbio ou anaeróbio e com ou sem lixiviação (ANDRADE *et al.*, 2010).

Na incubação aeróbia uma mistura conhecida de solo e lodo de esgoto (100g:1g, 100:1,5, 100:2 e somente solo) é colocada em um recipiente de vidro ou plástico e incubado em estufa com temperatura controlada. O experimento tem duração de 126 dias e a cada semana um recipiente é retirado da estufa para a determinação da concentração de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ . Nesse teste é necessário colocar um recipiente somente com o solo para verificar a mineralização da matéria orgânica nativa no solo. No final do experimento a soma das formas minerais de nitrogênio de todas as semanas determinadas (0, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112 e 126 dias) no pote com mistura de solo e lodo menos a concentração de nitrogênio mineral produzida no recipiente somente com o solo tem concentração do nitrogênio mineralizável do lodo (BOEIRA, 2005; ABREU *et al.*, 2009).

O outro experimento de incubação aeróbio é realizado em uma coluna de lixiviação com uma mistura conhecida de solo e lodo, sendo necessário adicionar areia para manter o meio em aerobiose e a lixiviação das formas minerais presentes nessa mistura na coluna é realizada com cloreto de potássio nas datas prevista no projeto (0, 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, e 126 dias) coletando o lixiviado e determinando as concentrações de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  (CESTESB, 1999; BOEIRA 2005).

Para realização do experimento com incubações anaeróbias (sem lixiviação) é necessário manter as amostra de solo e lodo inundados durante sete dias e depois é avaliado o teor de nitrogênio amoniacal (BOEIRA, 2005; BOEIRA e MAXIMILIANO, 2004). A incubação aeróbia apresenta como desvantagem o alto custo e elevado período de tempo para a realização da análise (BOEIRA, 2005).

A realização do experimento de mineralização de lodo determina:

- i) Fração de mineralização do N orgânico (Equação 1);

$$FM (\%) = \frac{Nm(\text{tratamento}) - Nm(\text{testemunha}) \times 100}{N_{org \text{ aplicado}}} \quad \text{Equação 1}$$

$N_m$ : nitrogênio mineralizado em  $\text{mg kg}^{-1}$  ao longo do tempo (t);

$N_{org}$ : nitrogênio orgânico em  $\text{mg kg}^{-1}$  aplicado no experimento.

### 3.3.2 Lixiviação do nitrato

O uso de lodo na agricultura de forma inadequada pode gerar impactos ambientais no solo e nas águas subterrâneas. O primeiro está relacionado com a contaminação do solo por metais pesados e segundo pela lixiviação de nitrato. Dos fatores restritivos, metais pesados, microrganismos patogênicos, compostos orgânicos tóxicos e disponibilidade de nitrogênio, esse último é o fator limitante do uso na agricultura por causa da contaminação por nitrato das águas subterrâneas. Das formas minerais de nitrogênio no solo, o íon amônio, sendo um cátion que permanece no solo em sua forma trocável e pode ser adsorvido pelas cargas negativas do solo, entretanto o nitrato, por apresentar carga negativa, é repelido da superfície das partículas do solo, permanecendo em solução e susceptível à lixiviação (RAIJ, 1991).

Para evitar a perda de nitrato para regiões abaixo da área de influência das raízes é necessário o conhecimento do comportamento da mineralização do resíduo orgânico aplicado ao solo aliado ao planejamento da época de aplicação do resíduo. Sua aplicação deve ocorrer em uma época em que a planta necessite dos nutrientes para se desenvolver, pois VIEIRA e CARDOSO (2003) notaram que as maiores perdas de nitrogênio ocorrem no início do ciclo da cultura devido à menor necessidade de nutrientes pela planta.

### 3.4 FLORICULTURA E A CULTURA DA ROSA

A floricultura abrange o cultivo de plantas ornamentais, desde flores de corte e plantas envasadas, floríferas ou não, até a produção de sementes, bulbos e mudas de árvores de grande porte (SOARES, 2004; SILVEIRA, 1997). Mundialmente ocupa uma área estimada em 190 mil hectares, com rendimento de 60 bilhões de dólares por ano e as flores de corte são o seguimento mais expressivo nesse mercado (BUAINAIN e BATALHA, 2007).

No primeiro semestre de 2010 o Brasil exportou US\$ 436,8 mil em flores frescas cortadas e botões, sendo 3,06% do total de vendas internacionais da floricultura. Na exportação de rosa especificamente o valor de exportação está em US\$ 147,2 mil e tiveram como origem os estados do Ceará, São Paulo e Minas Gerais com respectivamente 58,53%, 21,62% e 19,85% (JUNQUEIRA e PEETZ, 2010). A floricultura apresenta um mercado promissor com alta remuneração por área, no entanto o Brasil carece de pesquisas com novas variedades de flores e uso eficiente dos insumos agrícolas (BARBIERI e STUMPF, 2005).

A mão de obra utilizada na floricultura é principalmente de trabalhadores familiares e permanentes, característica essa devido a sua introdução por imigrantes que em seus países produziam em pequenas unidades familiares e pelo uso intensivo de mão de obra (SANTOS e KIYUNA, 2004; SÁ, 2010).

A floricultura apresenta uma enorme variedade de flores de diferentes tipos e matizes, sendo a rosa uma das mais admirada, desejada e comercializada no mundo inteiro, com grande variedade de cores de pétalas (TAKANE; SIQUEIRA; CASARINI, 2007). O consumo de rosas está ligado a datas comemorativas como: dia das mães, dia dos namorados, dia da mulher, dia da secretária, natal e ano novo (TAKANE; SIQUEIRA; CASARINI, 2007).

O gênero *Rosa sp* pertence à família Rosáceae, ordem Rosales, subclasse Dicotiledônea e Classe das angiospermas, com origem na Ásia e depois distribuída para Europa e América (URCULLU, 1953, *apud* CASARINI, 2004). A rosa é uma planta perene, arbustiva, com hábito

de crescimento ereto, apresentando caule lenhoso normalmente com espinhos e folhas composta de 5 a 7 folíolos ovalados (TAKANE; SIQUEIRA; CASARINI, 2007).

As rosas são classificadas de acordo com sua finalidade em flores de corte, utilizadas em arranjos florais e buquês, de vaso e de ornamentação de jardins. Os diversos tipos de rosa apresentam diferenciação pela coloração, tamanho das hastes, do botão, produtividade e resistência às doenças (TAKANE; SIQUEIRA; CASARINI, 2007).

O cultivo das rosas pode ser em ambiente protegido (estufa), a céu aberto (campo) e em recipientes (vasos). A maior parte do cultivo no Brasil é a céu aberto com 71%, depois vem estufa com 26% e por último as plantações somente com uma tela com 3% (MITSUEDA; COSTA; D'OLIVEIRA, 2011). O cultivo em céu aberto apresenta uma menor produtividade que a produção em estufa, pois na estufa ocorre um maior controle da temperatura e é possível diminuir a incidência de pragas.

A prática do plantio em recipiente de rosas é recente e vem sendo adotada por agricultores brasileiros e de outros países. O plantio é realizado em vasos com volume de 10 litros, colocando quatro mudas por vaso, tendo normalmente, como substrato a fibra de coco ou casca de arroz carbonizada (TAKANE; SIQUEIRA; CASARINI, 2007).

Para suprir a demanda de rosas pelo mercado consumidor os produtores estão utilizando um alto índice de fertilizantes e água (TAMIMI *et al*, 1999) podendo assim causar danos ao ambiente. Para minimizar os impactos causados pela adubação mineral uma alternativa é a aplicação de lodo de esgoto como fonte de nutrientes e matéria orgânica.

A roseira é uma cultura que apresenta uma alta extração e exportação de nutrientes, o primeiro é relativo à nutrientes essenciais para produção de biomassa, crescimento e produção das hastes florais, o segundo é referente a exportação pela cultura seja na colheita ou nos tratos culturais (poda) (CASARINI e FOLEGATI, 2006; VILLAS BÔAS *et al*, 2008). Essa retirada frequente de nutrientes gera uma necessidade constante da aplicação de fertilizantes para manter a produção.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em Outubro de 2010 na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), em área experimental do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, no município de Campinas-SP. As coordenadas geográficas da área experimental são 22° 49' latitude sul, 47° 03' longitude oeste e altitude de 617 m. De acordo com a CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura) a temperatura anual média do ar é de 22,6 °C, com média de precipitação de 1424,5 mm ano<sup>-1</sup> e umidade relativa do ar entre 47 e 73%. O clima de acordo com a classificação de Koppen é Cwa tropical de altitude com chuvas no verão e secas no inverno.

### 4.2 SOLO

O solo utilizado na pesquisa foi retirado em uma área da própria Universidade e foi analisado no laboratório de física do solo do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas). Apresenta uma classificação granulométrica muito argilosa, capacidade de campo (10 kpa) de 0,28 g g<sup>-1</sup> e ponto de murcha de 0,24 g g<sup>-1</sup> (Tabela 4.1).

**Tabela 4.1:** Caracterização física do solo.

Argila, g/Kg	Silte, g/Kg	Areia Total, g/Kg	Classificação
< 0,002 mm	0,053-0,002 mm	2,00 – 0,053 mm	textural
687	45	268	Muito Argilosa

Em agosto de 2010 foram retiradas amostras de solo para análise de fertilidade, a qual foi realizada no laboratório de fertilidade do solo do IAC (Tabela 4.2). Baseando-se nos resultados encontrados foi aplicado calcário dolomítico para elevar a PNRT (poder relativo de neutralização total) para 80% e torta de mamona para aumento da matéria orgânica, seguindo a

recomendação de Malavolta (2002). A adubação mineral foi realizada conforme recomendação do boletim 100 (RAIJ *et al*, 2001) para a roseira na fase de formação 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 280 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 300 kg ha<sup>-1</sup> de potássio.

**Tabela 4.2:** Característica química do solo

M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B	C.T.C	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
g dm <sup>-3</sup>	--	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmoc			dm <sup>-3</sup>	-----			%	-----mg dm <sup>-3</sup> -----					
16	5,1	2	<0,1	30	4	--	20	33,9	54,1	63	--	0,1	3,1	11	3,6	0,8

### 4.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

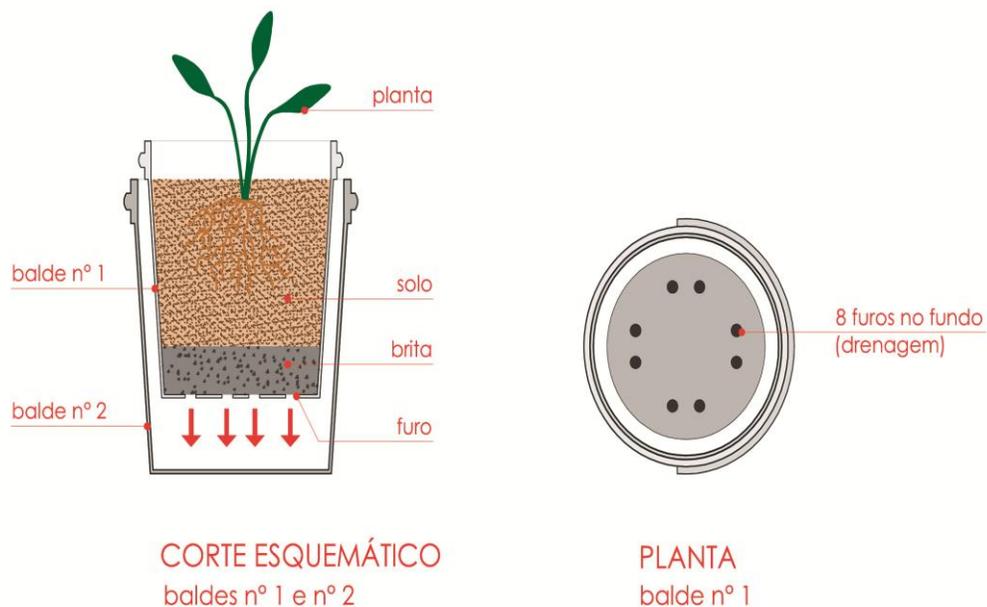
Para realização do experimento com rosas foram utilizados baldes de 20 L (Figura 4.1) distribuídos em área cercada com sombrite, ficando sujeitos às condições ambientais naturais (Figura 4.2). O sistema foi composto por dois baldes, encaixados um em cima do outro, conforme a Figura 4.3. O balde de baixo foi utilizado para coletar a água lixiviada para permitir a quantificação de nitrato lixiviado. O sistema de drenagem do balde superior constava de oito furos de 8 mm em seu fundo e uma camada de brita de 5 cm de brita número 4, acima da qual foi colocado o solo de cultivo.



**Figura 4.1:** Foto panorâmica da área de estudo (08/10/2010).



**Figura 4.2:** Delimitação da área de estudo com sombrite.



**Figura 4.3:** Corte transversal do esquema de vasos utilizados no plantio das roseiras e visão dos furos realizados no fundo do balde para drenagem do excesso de água.

Para análise da pluviometria da área foi utilizado um balde de 20 L onde o volume da precipitação era verificado diariamente, com o auxílio de uma proveta. Para comparar os valores da precipitação diária foram utilizados dados do CEPAGRI já que a estação de medição dessa instituição encontra-se em um a área próxima do experimento.

#### 4.4 CARACTERÍSTICA DO LODO DE ESGOTO

O lodo utilizado no experimento é proveniente da lagoa facultativa primária da ETE da cidade de Coronel Macedo-SP operada pela SABESP unidade de negócios do Alto Paranapanema com sede em Itapetininga, caracterizado por Franca (2010) Tabela 4.3. As dimensões da lagoa são: área 0,6642 ha, profundidade 1,5 m e volume de 9599 m<sup>3</sup>. Antes da retirada do lodo da lagoa a eficiência de remoção de DBO era de 62,6% e após a retirada a eficiência alcançou 82% (França, 2010). Quando realizado uma batimetria nessa lagoa constatou que ocorreu um acúmulo de lodo em apenas uma parte da lagoa, fato esse possivelmente pela geometria irregular da lagoa (França, 2010).

**Tabela 4.3:** Caracterização do lodo da cidade de Coronel Macedo operada pela SABESP.

Parâmetros	Resultado (base seca)	Unidade
Umidade	70,9	% m/m
pH	8,1	-
Sólidos Voláteis	5,9	% m/m
Sólidos Totais	29,1	% m/m
Carbono Orgânico	131	g/kg
Nitrogênio amoniacal	955	mg/kg
Nitrogênio nitrato-nitrito	39,5	mg/kg
Nitrogênio total	14,2	g/Kg
Alumínio*	12175	mg/kg
Arsênio*	3,3	mg/kg
Bário*	260	mg/kg
Boro*	<1,0	mg/kg
Cádmio*	0,60	mg/kg
Cálcio*	6,1	g/kg
Chumbo*	37,5	mg/kg
Cobre*	84,4	mg/kg
Cromo*	26,4	mg/kg
Enxofre*	10,3	g/kg
Ferro*	19407	mg/kg
Fósforo*	3,7	g/kg
Magnésio*	0,86	g/kg
Manganês*	180	mg/kg
Mercurio*	<1,0	mg/kg
Molibdênio*	0,80	mg/kg
Níquel*	6,1	mg/kg
Selênio*	<1,0	mg/kg
Zinco*	316	mg/kg
Potássio*	216	mg/kg
Sódio*	585	mg/kg

\*Teores totais Laboratório: Instituto Agrônomo de Campinas - IAC - Microbiologia e Qualidade do Solo. Fonte França (2010).

A ETE de Coronel Macedo iniciou sua operação no ano de 1990 e é composta por uma lagoa facultativa primária antecedida por um sistema de gradeamento médio com vazão média de  $8 \text{ L s}^{-1}$  (FRANÇA, 2010).

Após dezoito anos de operação o lodo acumulado na lagoa foi retirado por meio de dragagem e acondicionado em BAG de geotextil com adição de polímero catiônico (Figura 4.4).

O lodo utilizado no presente estudo foi proveniente deste BAG, após o período de deságue de dois anos.



**Figura 4.4:** Deságue em BAG do lodo de Coronel Macedo. Fonte França (2010).

#### 4.5 TAXA DE APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO EM ROSEIRA

Para o cálculo do nitrogênio disponível no lodo de esgoto foi utilizado fração de mineralização (FM) igual à 20%. A fórmula para aplicação subsuperficial do lodo (Equação 2) foi utilizada conforme a recomendação da resolução CONAMA 375/06. Como na literatura e na resolução CONAMA não havia o valor da fração de mineralização de nitrogênio referente a lodo

de esgoto de lagoa facultativa, foi escolhido o FM de 20% devido ao elevado tempo em que o lodo ficou na lagoa e no BAG.

$$N_{disp} = \left(\frac{FM}{100}\right)X(N_{kj} - N_{NH_4}) + (N_{NO_3} + N_{NO_2}) \quad \text{Equação 2}$$

Destaca-se que, em razão a um erro de impressão na resolução CONAMA, a fórmula para o cálculo do nitrogênio disponível foi alterada (Equação 3), adicionando-se a parcela do nitrogênio amoniacal (SANTOS, 2001; TSUTIYA, 2001; ABREU *et al*, 2009).

$$N_{disp} = \left(\frac{FM}{100}\right)X(N_{kj} - N_{NH_3}) + N_{NH_3} + (N_{NO_3} + N_{NO_2}) \quad \text{Equação 3}$$

Onde;

$$N_{kj} = \text{Nitrogênio Kjeldahl (Nitrogênio orgânico total + Nitrogênio amoniacal)} \frac{\text{mg}}{\text{kg}};$$

$$N_{NO_3+NO_2} = \text{Nitrato e nitrito} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)$$

$$N_{NH_3} = \text{nitrogênio amoniacal} \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$$

*FM* = Fator de Mineralização.

Para o cálculo do nitrogênio disponível foi realizada uma nova análise do conteúdo de nitrogênio do lodo cujos valores estão expressos na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4:** Valores de nitrogênio do lodo de esgoto após dois anos de deságue em BAG

Parâmetro	Unidade	Resultado (Base seca)
Umidade, a 60-65%	%(m/m)	64,4
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	19,6
Nitrogênio Amoniacal	mg de N/kg	736
Nitrogênio nitrato-nitrito	mg de N/kg	35,7

Por sua vez, a taxa de aplicação de lodo de esgoto na agricultura é o quociente do nitrogênio recomendado para a cultura (100 kg N ha<sup>-1</sup>) sobre o nitrogênio disponível no lodo (CONAMA, 2006), conforme mostra a Equação 4.

$$\text{Taxa de aplicação } \left( \frac{T}{ha} \right) = \frac{N \text{ recomendado (kg/ha)}}{N_{\text{disponível}} \text{ (kg/T)}} \quad \text{Equação 4}$$

Considerando que um hectare tem 83.300 plantas (espaçamento 1m x 0,12m), tem-se a taxa de aplicação calculada conforme a CONAMA 375/06 de 24 Mg de lodo seco ha<sup>-1</sup> ou 288 g planta<sup>-1</sup>

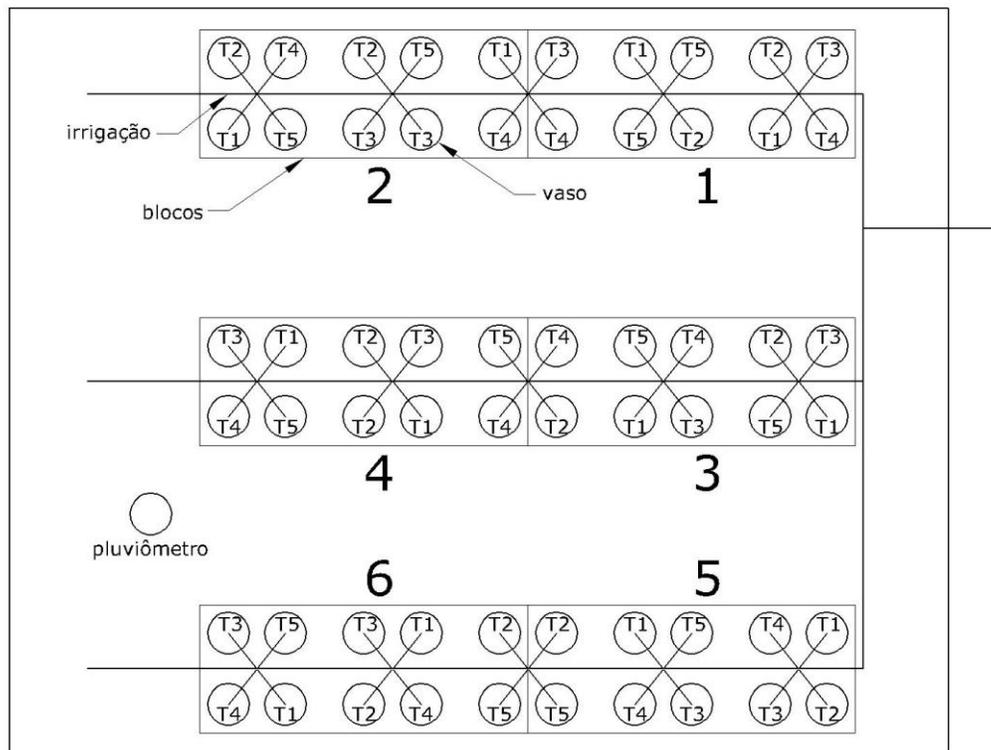
#### 4.6 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos foram:

- T<sub>1</sub> = 0 Mg de lodo seco ha<sup>-1</sup> (testemunha),
- T<sub>2</sub> = 12 Mg de lodo seco ha<sup>-1</sup> ou 144 g planta<sup>-1</sup> (50% da dose calculada de lodo),
- T<sub>3</sub> = 24 Mg de lodo seco ha<sup>-1</sup> ou 288 g planta<sup>-1</sup> (100% da dose calculada de lodo),
- T<sub>4</sub> = 36 Mg de lodo seco ha<sup>-1</sup> ou 432 g planta<sup>-1</sup> (150% da dose calculada de lodo), e
- T<sub>5</sub> = Adubação mineral recomendada 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

A aplicação do lodo na roseira foi realizada no dia 16/02/2011 e a incorporação no dia 17/02/2011. Todos os tratamentos receberam complementação de fósforo (280 kg ha<sup>-1</sup>) e potássio (300 kg ha<sup>-1</sup>) visto que o lodo de esgoto apresenta baixa quantidade desses elementos.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, ou seja 6 blocos x 5 tratamentos x 2 repetições iguais de cada tratamento no mesmo bloco (Figura 4.5). Desse modo tem-se a vantagem do mesmo número de parcelas apresentar maior grau de liberdade para os resíduos (PIMENTEL-GOMES, 2000). Os blocos com mudas novas foram: 1, 2, 5, 6 e com mudas velhas foram 3 e 4.



T1 sem lodo e adubação nitrogenada; T2 12 Mg de lodo seco  $\text{ha}^{-1}$  ou 144 g planta $^{-1}$ ;  
 T3 24 Mg de lodo seco  $\text{ha}^{-1}$  ou 288 g planta $^{-1}$ ; T4 36 Mg de lodo seco  $\text{ha}^{-1}$  ou 432 g planta $^{-1}$ ;  
 T5 Adubação mineral recomendada 100 kg N  $\text{ha}^{-1}$

**Figura 4.5:** Esquema do delineamento experimental em blocos casualizados.

#### 4.7 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

As plantas foram irrigadas por sistema de gotejamento por microtubos, também conhecido como "espaguete" (Figura 4.6), com vazão de 1,0 L  $\text{h}^{-1}$ , havendo um emissor por vaso. A lâmina hídrica aplicada foi de 4,0 mm  $\text{d}^{-1}$ .



**Figura 4.6:** Sistema de irrigação por microtubos.

#### 4.8 CULTURA ESCOLHIDA

Para realização do experimento foi escolhida uma variedade de rosa que apresenta boas condições para o cultivo em campo e resistência ao ataque de pragas e doenças. Um segundo fator de relevância foi à preferência do consumidor. Desta forma foi escolhida a variedade ‘Carola’ por possuir, alta produtividade, uma longa haste (40 a 70 cm), um grande botão floral (4,5 a 6,0 cm) e pétalas vermelhas (CEAROSA, 2011) (Figura 4.7).



**Figura 4.7:** Rosa SP, variedade ‘Carola’ (VEILING HOLAMBRA, 2011)

As mudas foram doadas pelo senhor Miguel Renato Esperança, da empresa Rosa Esperança do Sítio Santo Antônio, produtor do município de Holambra - SP.

#### 4.9 PLANTIO DA CULTURA

Foram realizados dois plantios de mudas: o primeiro em 23 de agosto e o segundo em 07 de outubro. Um segundo plantio foi necessário, pois um grande número de mudas foi inviabilizado pelo ataque de insetos. A partir do segundo plantio foi instalado um sombrite (Figura 4.2), na tentativa de se evitar a invasão de insetos. Portanto as plantas passaram a apresentar idades diferentes, motivando a utilização de um delineamento experimental em blocos, ou seja: dois blocos com plantas velhas (20 mudas) e quatro blocos com plantas novas (40 mudas).

Em razão do tempo do ciclo biológico de desenvolvimento do vegetal, o presente estudo avaliou apenas a fase de formação do desenvolvimento da roseira.

#### 4.10 ANÁLISES DE NITROGÊNIO DAS FOLHAS

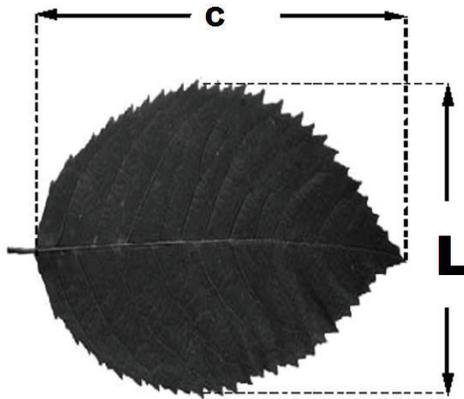
Com a finalidade de avaliar o estado nutricional das plantas foram coletadas amostras de folhas das plantas de todos os blocos para a determinação dos teores de nitrogênio. Na coleta das folhas foi utilizada a metodologia de Sonneveld e Voogt (2009). As folhas coletadas foram lavadas com água de torneira e enxaguadas com água destilada. Após as lavagens, foram colocadas em sacos de papel, secas em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C até peso constante e logo após trituradas em moinho do tipo Wiley. As análises das folhas foram realizadas no laboratório de saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI). Os métodos utilizados foram: digestão com ácido sulfúrico e água oxigenada ( $H_2SO_4 + H_2O_2$ ) e a determinação de nitrogênio pelo método Kjeldahl (MIYAZAWA *et al*, 2009).

#### 4.11 ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DA ROSEIRA

##### 4.11.1 Área do folíolo

As medidas de comprimento e largura das folhas foram obtidas de cinco folhas na região central da planta com auxílio de uma régua com escala em centímetros. Foi avaliado o primeiro folíolo de cada folha.

Para determinação da área do folíolo (AF) foi utilizado o modelo não destrutivo proposto por ROUPHAEL *et al* (2010). Esse modelo utiliza o comprimento (C) e largura (L) do folíolo (Figura 4.8) e a equação 4 para o cálculo da área. Para confirmar se o método proposto por ROUPHAEL *et al* (2010) é válido, foi calculada a área de folíolos com o programa AutoCAD (Figura 4.9). Para análise estatística foi aplicado o teste dos resíduos ao quadrado e análise de dispersão (anexo 1). Os resultados obtidos nos dois métodos são semelhantes e assim é possível utilizar o método proposto por ROUPHAEL *et al* (2010).



**Figura 4.8:** Folíolo da Rosa. Fonte Rouphael *et al* (2010) modificado

$$AF = a + bC \times L$$

**Equação 4**

Onde;

AF = área do folíolo (cm);

C = comprimento (cm);

L= largura (cm); e a e b são constante (0,560 e 0,717)



**Figura 4.9:** Cálculo da área do folíolo com o programa Autocad<sup>®</sup>. Fonte Autor (2011).

#### 4.11.2 Matéria seca das raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA)

Ao término do experimento foi realizado o corte do caule da roseira rente ao solo para a separação da parte aérea (folhas, ramos e caule) do sistema radicular. Para retirada das raízes do solo foi utilizado um jato de água (Figura 4.10). Todo o material foi lavado com água e acondicionado em sacos plásticos. No laboratório o material foi lavado com água destilada e acondicionado em saco de papel em estufa a 65 °C até peso constante, para a determinação da massa seca das raízes (MSR) e a massa seca da parte aérea (MSPA) por meio de pesagem em balança.

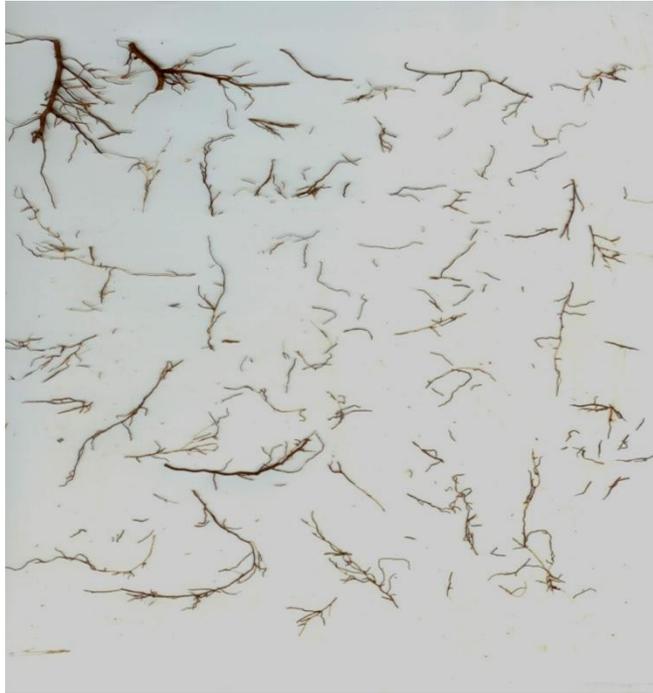


**Figura 4.10:** Retirada do solo com jato de água corrente.

#### 4.11.3 Análise do sistema radicular

Para determinação do volume aparente das raízes foi utilizado o programa computacional SAFIRA desenvolvido pela EMBRAPA para analisar fibras e raízes por meio de imagem, facilitando a determinação de volume, área superficial e comprimento por faixa de diâmetros.

Foram utilizadas trinta plantas no final do experimento, dois blocos com plantas novas e um bloco com plantas "velhas". As raízes foram lavadas por meio de jatos de água para retirada do solo, foram secas com papel absorvente e desmembradas para posterior escaneamento em escâner de mesa. As imagens obtidas foram analisadas pelo SAFIRA (Figura 4.11) e foram geradas planilhas no modelo Excel. Por último as raízes foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa a 65 °C para análise da MSR.



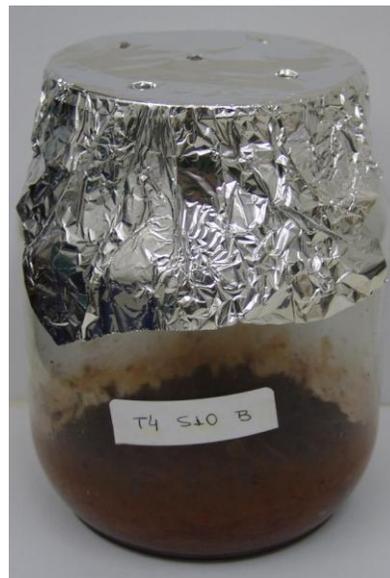
**Figura 4.11:** Imagem de parte de uma raiz obtida no escâner de mesa. Foto do autor (2011).

#### 4.12 ANÁLISE DE NITRATO DO LIXIVIADO

Como o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é uma espécie química considerada móvel no solo, sua determinação foi realizada na água lixiviada. Em todas as amostragens o volume de água contido no vaso testemunha foi mensurado para a determinação da quantidade de nitrato lixiviado. Para a determinação do  $\text{N-NO}_3^-$  utilizou-se o reagente nitra-ver da HACK e espectrofotômetro HACK DR 4000, no comprimento de onda 500 nm. Para realização da coleta do lixiviado, o primeiro balde com o vegetal foi retirado (Figura 4.3), do volume de líquido presente no segundo balde, foi coletado uma alíquota de 100 ml para análise no laboratório.

#### 4.13 DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DO LODO EM LABORÁTÓRIO

Para a análise da mineralização do nitrogênio contido no lodo, foi utilizada incubação aeróbia (sem lixiviação), conduzida durante 126 dias, conforme descrito por ABREU *et al.*,(2009). O solo utilizado no experimento foi seco ao ar livre e posteriormente peneirado em malha de 2 mm. Deste solo, foi retiradas alíquota de 100 g colocadas em frascos de vidro de 2 L (Figura 4.12). A umidade do solo dos frascos foi avaliada por meio de pesagem, realizada a cada dois a três dias e a quantidade de água perdida foi repostada de modo que a capacidade de campo permanecesse em 70%. Na incubação do solo com o lodo de esgoto aplicou-se doses que proporcionaram N total equivalentes a: 0 ; 130; 260; 520 mg kg<sup>-1</sup>, proporcional a: 0; 260; 520; 1040,00 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente. O experimento foi montado em duplicata nos dias 23 e 24 de março do ano de 2011. O lodo foi incorporado no solo no dia 25 do mesmo mês. Os potes foram incubados em estufa a 26 °C ± 2 °C. As determinações do nitrogênio foram a 0, 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112 e 126 dias após a incubação.



**Figura 4.12:** Unidade experimental da fração de mineralização do nitrogênio. Foto do Autor (2011)

#### 4.13.1 Determinação do nitrogênio inorgânico

Para a determinação do nitrogênio inorgânico ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) do solo foi utilizado o método de destilação de vapor (CANTARELLA e TRIVELLIN, 2001). Também foi determinado o pH em  $\text{CaCl}_2$  e a umidade. Na determinação do nitrogênio inorgânico foi retirado dos potes uma amostra de 10 g de solo e adicionada em uma Erlenmeyer com uma solução de 100 mL de cloreto de potássio. Depois de uma hora de agitação a amostra ficou em repouso por 30 minutos para a retirada do sobrenadante, nesse sobrenadante foi determinado a concentração das formas minerais no nitrogênio.

#### 4.14 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o tratamento estatístico foram utilizados a análise de variância e teste de Tukey com 5% de significância.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 BIOMASSA

Ao comparar o efeito da aplicação de lodo de esgoto sobre a massa seca das raízes (MSR) da roseira, observa-se na Tabela 5.1 que houve um significativo aumento da MSR com o acréscimo da dose de lodo de esgoto utilizada, exceto no T2. A menor MSR foi observada no tratamento testemunha (T1), em que não houve adubação nem adição de lodo de esgoto. Nota-se que o tratamento onde foi incorporado a maior dose de lodo (T4) verificou-se um expressivo aumento da MSR de aproximadamente três vezes ao verificado no tratamento controle (T1). Na comparação entre os tratamentos que receberam a quantidade de nitrogênio recomendada pela cultura ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ), tratamentos T3 (lodo) e T5 (adubação mineral), observou-se maior MSR no tratamento com fertilizante mineral (T5). Tal fato pode ter sido atribuído pela não mineralização do nitrogênio no T3, comprovando a necessidade de análise específica para cada lote de lodo com potencial de uso na agricultura a fim de que a dose recomendada de sua aplicação seja mais precisa.

No período inicial da pesquisa o solo apresentou uma alta umidade, devido ao elevado volume de chuva (Anexo 2), isso pode ter inibido o metabolismo microbiano e não ter ocorrido a mineralização do lodo como esperado para o T3, apresentando assim um menor desenvolvimento que o T5.

**Tabela 5.1:** massa seca das raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), a relação MSR / MSPA e o volume das raízes nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	MSR -----g planta <sup>-1</sup> -----	MSPA	Biomassa total da planta	Relação MSR/MSP A	Volume ml
T1	13,40a	16,10a	29,50a	0,75a	17,25a
T2	18,20a	28,10ab	48,30ab	0,68a	12,20a
T3	32,50b	35,80b	68,30b	0,95a	13,60a
T4	41,20bc	51,73c	92,93c	0,83a	20,40a
T5	49,00c	55,00c	104,00c	0,90a	22,10a

\*Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística pelo método de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Johansson (1978), analisando soluções com diferentes concentrações de macro e micronutrientes para fertirrigação de roseira, observou que no tratamento com a concentração adequada de nutrientes para o cultivo de rosa as raízes foram pequenas e altamente ramificadas. Na retirada das raízes do solo com água corrente observou-se que nos tratamentos com aplicação de fertilizante mineral (T5) e com maiores dose de lodo (T3 e T4), houve dificuldades na retirada do solo. Essa dificuldade da retirada das raízes do solo é tanto maior quanto maior o número de ramificações das raízes (Figura 5.1) e pela maior a MSR (Tabela 5.1).



**Figura 5.1:** Raízes de roseira: adubação mineral (T5); dose de lodo recomendada para a cultura (T3) e testemunha (T1).

Desenvolvimento radicular semelhante foi observado em experimento de campo com pupunheira (*Bactris gasipaes*), em que o aumento da biomassa do sistema radicular foi proporcional a dose de lodo aplicada, sendo que no maior valor (400 kg N ha<sup>-1</sup>) houve um aprofundamento do sistema radicular e maior quantidade de raízes finas (Vega *et al*, 2005), que são responsáveis pela retirada da maior parte dos nutrientes e água do solo. Costa *et al* (2001) também observou o aumento do peso de raízes em um experimento de campo com aplicação de lodo de lagoa anaeróbia desinfetado com cal virgem em mamoneiro.

Em oposição aos valores encontrados acima, a análise de raízes finas (< 3 mm) em *Eucalyptus grandis* mostrou que o aumento gradativo da dose de lodo de esgoto (10, 20 e 40 t ha<sup>-1</sup>) aplicada nesta cultura, diminuiu a densidade, o diâmetro e a superfície específica das raízes finas da planta (MARTINS *et al*, 2004). Os autores concluíram que as plantas que receberam lodo de esgoto não necessitaram de uma translocação de fotoassimilados da parte aérea para a formação de raízes, tendo em vista que a aplicação de lodo de esgoto proporcionou macro e micronutrientes em quantidades satisfatórias (MARTINS *et al*, 2004).

Segundo FERREIRA (2005), em estudos realizados na implementação de cafezal, a adição de lodo de esgoto na cova de plantio resultou em prejuízo no desenvolvimento do sistema radicular e comprometeu o desenvolvimento da planta. Essa perda foi mais significativa quando se aplicou o dobro da dose de lodo, ocasionando a morte da planta. Nesta situação o autor cogitou que provavelmente a causa da morte do vegetal pode estar associada a elevada condutividade elétrica e salinidade provocada pelo NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. A falta de estabilidade do lodo foi descartada pelo autor, pois se tratava de um lodo antigo. Entretanto esta hipótese não pode ser totalmente descartada, pois o tempo de acumulação de lodo na lagoa (dois anos) não garante estabilidade (FERREIRA, 2005).

No caso das roseiras a massa seca da parte aérea (MSPA) foi influenciada pela dose de lodo aplicado, com um maior crescimento no tratamento com adubação mineral (T5) e na aplicação de lodo na dose de N 50% acima do recomendado (T4) (Tabela 5.1), sendo que em ambos tratamentos, T4 e T5, não apresentaram diferença estatística significativa. Resultado similar foi encontrado por Mata-Gonzalez *et al*, (2002) no estudo da aplicação de elevadas taxas de incorporação de lodo de esgoto em gramíneas (*Bouteloua gracilis* e *Hilaria mutica*). Da

mesma forma, em trabalhos com azevém (*Lolium perenne*) e milho (*Zea mays*), que receberam lodo de esgoto por diferentes métodos de estabilização, foi possível concluir que o aumento da taxa de aplicação também aumentou a biomassa seca da planta (BOEN e HARALDSEN, 2011; BARROS *et al*, 2011).

Utilizando lodo de esgoto oriundo de uma ETE do sistema australiano em alface, Lopes *et al*, (2005) concluíram que a massa seca da parte aérea e a matéria fresca nas folhas de alface que receberam lodo foram superiores estatisticamente ao tratamento controle, qualificando o lodo com alta aptidão agrícola.

No presente experimento o maior acúmulo de biomassa total (MSR+MSPA) na roseira foi observado no tratamento com adubação mineral (T5) seguido pelo tratamento com 50 % acima da necessidade da cultura (T4), porém não há diferença estatística entre T4 e T5. (Tabela 5.1). A ausência de nitrogênio na solução do solo causa atrofia ou menor desenvolvimento nas plantas, o que pode ter ocorrido no tratamento que não foi utilizado fontes de nitrogênio (T1).

Não houve diferença estatística na biomassa total da roseira entre os tratamentos com o aumento da dose de T2 e T3, no entanto foi observado efeito significativo no aumento da dose de T3 para T4. Tais resultados são diferentes dos encontrados por Fernández-Luqueño *et al*, (2010) que estudaram a aplicação lodo de esgoto em duas taxas, 12,8 e 21,2 g lodo/ kg de solo, na aplicação em feijão (*Phaseolus vulgaris L*). Tais autores concluíram que a taxa de aplicação do lodo de esgoto teve pouco efeito sobre as características morfológicas do feijoeiro. Esse aumento da taxa de aplicação do lodo no solo não necessariamente aumenta a liberação de nutrientes relacionada à mineralização do resíduo, podendo ocorrer a imobilização dos nutrientes presentes do lodo, devido ao aumento da relação Carbono/Nitrogênio (GONÇALVES, 2005).

A observação da relação MSR/MSPA é uma forma de avaliar o transporte de fotoassimilados da parte aérea para as raízes ou o inverso nas plantas (ATKINSON, 2000). Segundo GREGORY (2007) em experimentos com aplicação de fertilizantes minerais foi demonstrado que geralmente ocorre um aumento da parte aérea e uma diminuição das raízes, com isso a relação MSR/MSPA diminui. A relação MSR/MSPA nas roseiras não apresentou uma tendência de aumento ou diminuição com o aumento da dose de lodo. Essa relação foi

semelhante para o tratamento com adubação mineral (T5) e lodo na base N (T3). A relação MSR/MSPA tende a diminuir com a aplicação de bio sólidos, por causa do maior crescimento da parte aérea em relação às raízes. Esse efeito também foi observado em grama azul (*Bouteloua gracilis*) e em algodão (MATA-GONZALEZ *et al*, 2002; PEDROZA *et al*, 2003). No estudo da aplicação de lodo de esgoto na pupunheira houve um incremento no desenvolvimento do sistema radicular associado ao crescimento da parte aérea (VEGA *et al*, 2005).

No presente estudo não foi observado alguma relação MSR/MSPA nas roseiras de forma conclusiva, no entanto, observa-se que nos outros estudos, os pesquisadores utilizaram um número maior de tratamentos, taxas de aplicação elevadas e a diferença nas doses entre os tratamentos também foi elevadas.

Porém neste estudo o volume de raízes apresentou uma tendência de crescimento com o aumento da dose de lodo, no entanto não foi observado efeito significativo. A ausência de nutrientes estimula o crescimento do sistema radicular, como se observa (Tabela 5.1) no tratamento testemunha (T1) e na sub dose de lodo (T2). Os experimentos que correlacionaram suprimento de nutrientes e crescimento do sistema radicular, utilizaram como fonte de nutrientes fertilizantes minerais e os efeitos na planta são visíveis, ou seja: maior aplicação de fertilizantes, menor crescimento das raízes. No entanto, a aplicação de lodo de esgoto tem suas peculiaridades, nesse caso os nutrientes não estão prontamente disponíveis e a matéria orgânica do lodo pode atuar sobre a física do solo, influenciando em um maior desenvolvimento das raízes, em razão do aumento da dose de lodo.

## 5.2 ÁREA DAS FOLHAS

Avaliou-se a área foliar em três épocas (Tabela 5.2). Os valores da tabela são médias dos cinco folíolos. A aplicação de lodo de esgoto aumentou a área foliar em todas as épocas estudadas. Na primeira análise as plantas estavam sob a influência da adubação de formação e as análises subsequentes foram desenvolvidas para avaliar o efeito residual da aplicação do lodo.

**Tabela 5.2:** Área média de cinco folíolos da roseira em diferentes épocas

	Análise I (11/05/2011)	Análise II (02/10/2011)	Análise III (28/11/2011)
Tratamentos	-----cm <sup>2</sup> -----		
T1	8,90a	8,80a	10,30a
T2	12,10b	10,20a	11,50a
T3	12,80bc	11,40b	11,60a
T4	14,66c	11,90b	11,95b
T5	12,00b	11,20b	11,97b

\*Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística pelo método de Tukey (p<0,05).

Na primeira análise as maiores áreas foliares foram observadas no tratamento T4 e T3. No tratamento com a dose de lodo recomendada para a cultura (T3) a área foliar foi maior que o tratamento com adubação convencional (T5), entretanto não apresentou efeito significativo. Observa-se que o aumento da dose de lodo de esgoto aumentou a área foliar. Da mesma maneira, o aumento da dose de lodo também proporcionou aumento da área foliar na cultura do arroz (*Oryza sativa*) e no algodão (*Gossypium hirsutum*) (SINGH e AGRAWAL, 2010; BEZERRA *et al*, 2005). A aplicação de lodo em algodão aumentou outros parâmetros morfológicos como altura da planta, diâmetro do caule (BEZERRA *et al*, 2005).

Na segunda e terceira análise as plantas estavam na fase de produção e necessitava de uma nova aplicação de fertilizantes ou lodo, no entanto buscava-se avaliar se ainda ocorria mineralização da matéria orgânica do lodo. Observa-se que ocorreu uma diminuição na área do folíolo da primeira para a segunda amostragem.

As maiores áreas dos folíolos foram encontradas nos tratamentos com adubação mineral e lodo de esgoto (T5 e T4 respectivamente) e os menores foram observados no tratamento testemunha e na menor dose de lodo de esgoto (T1 e T2 respectivamente) (Tabela 5.2). Isso provavelmente ocorreu pela maior eficiência na retirada de nutrientes pelo sistema radicular nos tratamentos com adubação mineral e lodo (T5 e T4) (Tabela 5.1) que foram mais desenvolvidos.

Uma maior área foliar da roseira influencia a taxa fotossintética e a produção de fotoassimilados, produzindo assim uma maior biomassa e possivelmente uma maior

produtividade (CASARINI, 2004). A relação fotossíntese e crescimento da planta com aplicação de lodo de esgoto foi estudado em alfafa (*Medicago sativa*), e os resultados obtidos revelaram um aumento na fotossíntese quando aplicado lodo de esgoto e foi verificado também um maior crescimento da planta (ANTOLÍN, MURO E SÁNCHEZ-DÍAZ, 2010).

As maiores áreas foliares nas roseiras foram observadas na primeira análise e nas subsequentes ocorreu uma diminuição das áreas. Casarini e Folegatti (2006) relatam que a diminuição do tamanho das folhas pode ser sintoma de deficiência de nitrogênio, assim como o amarelecimento das folhas velhas.

### 5.3 ANÁLISE DE NITROGÊNIO NAS FOLHAS

Observa-se na Tabela 5.3 a concentração de nitrogênio nas folhas das roseiras no início e no final do experimento. Somente na primeira amostragem foi observado significância pelo método de Tukey a 5%, na segunda amostragem pode ter ocorrido o transporte do nitrogênio foliar para outras partes da planta. O nitrogênio armazenado no tecido vegetal de roseira ajuda a suprir a demanda da planta em época com maior necessidade, como na formação das hastes de flores, assim o nitrogênio é alocado dentro da planta conforme sua necessidade (CABRERA, EVANS e PAUL, 1995).

**Tabela 5.3:** Análise do nitrogênio no tecido foliar de rosa ‘Carola’

Tratamento	Análise I	Análise II
	24/04/2011	14/11/2011
	-----g kg <sup>-1</sup> -----	
T1	14,84a	14,96a
T2	16,92ab	16,08a
T3	19,65bc	16,40a
T4	21,43c	13,30a
T5	18,45abc	15,30a

\*Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística pelo método de Tukey (p<0,05).

Na primeira avaliação houve um aumento na concentração de nitrogênio no tecido foliar com o aumento da taxa de aplicação de lodo. Simonete *et al*, (2003) também encontrou que o aumento da dose de lodo aplicado causa aumento no nitrogênio acumulado na parte aérea em milho. Do mesmo modo, Casarini (2004) observou um aumento na concentração de nitrogênio foliar com o aumento da dose de N via fertirrigação em rosa variedade “Versilha”. Na pesquisa realizada pelo Casarini (2004) o nutriente estava disponível para a planta. Quando é utilizado lodo de esgoto, para o nutriente ficar disponível para a planta é necessário que ocorra a mineralização dos nutrientes que estão na forma orgânica no lodo.

O tratamento com maior teor de nitrogênio foi T4 (21,43 g N kg<sup>-1</sup>), o qual teve uma média de concentração 44% superior ao tratamento T1. Analogamente, Guedes e Poggiani (2003) avaliaram os teores de macro e micronutrientes nas folhas de *Eucalyptus grandis* em experimento de campo e observaram que os maiores teores de nitrogênio nas folhas foram nos tratamentos que receberam aplicação de biossólidos, com teor médio de nitrogênio de 24,7 g kg<sup>-1</sup>. Nessa pesquisa os menores teores de nitrogênio foliar no eucalipto foram encontrados nos tratamentos testemunha absoluta (sem adição de fertilizantes), adubação mineral recomendada para a cultura e na menor dose de aplicação de lodo.

Os valores encontrados para a concentração de nitrogênio foliar na primeira e segunda amostragem estão abaixo do recomendado para a cultura: 30 g kg<sup>-1</sup> (BOARETTO *et al*, 2009).

Kray (2005) também observou que os teores de nitrogênio nas folhas de milho e azevém foram abaixo do recomendado para as culturas no estudo com aplicação de resíduos urbanos, lodo de esgoto e composto de lixo, no entanto o autor ressalta que as mesmas não apresentavam sintomas de deficiências nutricionais. Em experimento com milho em campo o aumento da dose de lodo aumentou a absorção pela planta, entretanto não suprimam a necessidade nutricional da cultura (GOMES *et al.*, 2007).

Na segunda análise (14/11/2011) a concentração de nitrogênio foliar entre os tratamentos não foram significativos e as plantas apresentavam sintomas de deficiência de nitrogênio. Possivelmente essa redução no teor do nitrogênio no tecido vegetal tenha sido influenciada pela idade da planta, época do ano, posição da folha na planta (JOHANSSON, 1978) ou solo não supriu a necessidade da planta e foi necessário o transporte do nitrogênio das folhas para outras partes da planta. Avaliando a dinâmica do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$  isótopos estáveis de nitrogênio) dentro da planta na variedade de rosa ‘Royalty’, Cabrera *et al.*, (1995) observaram uma constante alteração nos teores de nitrogênio nas diferentes partes da planta conforme o estágio de crescimento da planta e sua necessidade de nutrientes. Os autores observaram que a concentração de nitrogênio aumentou nas raízes na fase que a planta não estava produzindo hastes florais. Assim essa diminuição da concentração do nitrogênio nas folhas da primeira para a segunda amostragem (Tabela 5.3) pode ter ocorrido pelo aumento da concentração desse nutriente nas raízes, devido ao elevado crescimento do sistema radicular (Tabela 5.1 e Figura 5.1).

Aplicação de lodo de esgoto em plantas ornamentais como o crisântemo é recente. No cultivo de crisântemo em canteiros não houve efeito significativo nos teores de N, K, Ca e Mg na parte aérea das flores com o aumento das doses de lodo de esgoto e composto de resíduo sólido urbano, contudo foi observado no sistema radicular que o lodo de esgoto proporcionou maiores teores de N que o composto de resíduos sólidos (CONTE E CASTRO, BOARO, RODRIGUES, 2007). Assim também ocorreu com aplicação de lodo de esgoto em algodão (*Gossypium hirsutum*), onde a aplicação de lodo apresentou uma tendência de acúmulo de macronutrientes nas raízes e na parte aérea (NOGUEIRA *et al.*, 2007).

#### 5.4 LIXIVIAÇÃO DO NITRATO

Observa-se na Tabela 5.4 a concentração de nitrato, o volume de água lixiviada e carga de nitrato perdido no período inicial da pesquisa. Na primeira coleta de lixiviado não foi observado efeito significativo para os parâmetros observados. Essa coleta foi realizada sete dias após a aplicação do lodo. O tratamento com adubação mineral (T5) apresentou a maior concentração de nitrato na água lixiviada em todas as análises, exceto na última. Na segunda análise o único tratamento em que a concentração de nitrato foi abaixo do limite permitido para água potável ( $10 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi no tratamento testemunha (T1). Na terceira e nas análises subsequentes o nitrato lixiviado no T2 ficou abaixo do valor estabelecido para água potável. Para a maior dose de lodo (T4) e o tratamento com adubação mineral (T5), esse redução abaixo do limite estabelecido somente foi observado na penúltima e última análise.

Na avaliação da água drenada no cultivo de crisântemo (*Dendranthema grandiflora*) em vaso com doses de composto de lixo urbano e lodo de esgoto ( $10, 20, 30 \text{ t ha}^{-1}$ ) ocorreu uma maior lixiviação de nitrato na primeira amostragem (instalação do experimento), diminuindo na segunda amostragem (45 dias após a implantação) e não foi detectado na última amostragem (98 dias após a implementação) (CONTE *et al*, 2006). Efeito similar foi observado nessa pesquisa. Essa tendência de redução no volume e na quantidade de nitrato lixiviado ocorreu por causa do desenvolvimento do sistema radicular da planta e maior crescimento das plantas (Tabela 5.1). Kray (2005) também observou uma diminuição do volume de lixiviado com o crescimento da planta e isso pode ter ocorrido pela maior evapotranspiração da planta.

**Tabela 5.4:** Concentração de nitrato, volume de água lixiviada e quantidade de nitrato na água drenada nos vasos.

	22/02/2010	02/03/2010	10/03/2010	16/03/2010	30/03/2010	02/05/2010	Soma
Nitrato N-NO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )							
T1	1,16a	1,62a	0,92a	1,73a	1,15a	1,57a	8,15
T2	2,06a	10,35a	7,50a	2,13a	1,95a	1,63a	25,62
T3	0,89a	25,15b	20,62a	3,40a	4,33a	1,67a	56,06
T4	2,42a	38,82c	53,04b	26,50a	6,58a	1,90a	129,26
T5	2,87a	139,70d	131,44c	110,83b	7,57a	1,70a	394,11
Volume de Lixiviado (L)							
T1	3,30a	3,34a	3,10a	2,15a	2,44a	2,52a	16,85
T2	3,02a	3,24a	3,20a	2,00a	1,87a	1,27b	14,60
T3	3,32a	3,39a	3,21a	1,60b	1,50a	0,70b	13,72
T4	3,13a	3,26a	3,26a	1,90ab	2,20a	0,70b	14,45
T5	3,23a	3,12a	3,24a	2,10ab	1,60a	1,00b	14,29
Nitrato N-NO <sub>3</sub> (mg)							
T1	3,75a	6,05a	2,91a	3,57a	2,75a	3,63a	22,66
T2	6,52a	34,28ab	24,11a	4,22a	2,92a	1,64a	73,69
T3	2,95a	75,45ab	59,63a	5,97a	3,68a	1,06a	148,74
T4	8,30a	119,49b	176,04b	65,29a	13,94a	0,95a	384,01
T5	9,40a	342,60c	425,67c	204,4b	27,85a	1,67a	1011,59

\*Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística pelo método de Tukey (p<0,05).

Na última análise, observa-se que ocorreu uma maior lixiviação de nitrato no tratamento testemunha (T1), possivelmente pelo menor desenvolvimento da planta (Tabela 5.1). Os tratamentos que apresentaram as maiores lixiviação de nitrato foram T5>T4>T3>T2>T1 e os valores foram respectivamente 1012, 385, 149, 74, 23 mg. O tratamento que apresentou a maior lixiviação foi o tratamento com adubação mineral (T5), no qual lixiviou seis vezes mais nitrato do que no tratamento na dose de lodo recomendada para a cultura (T3). Condizente com isso, Kray (2005) observou uma menor lixiviação de nitrato nos tratamentos que receberam resíduos

orgânicos em relação ao tratamento com adubação mineral. Essa alta lixiviação de nitrato oriunda da aplicação de fertilizantes minerais é preocupante devido aos agricultores aplicarem altas taxas de fertilizantes visando obter uma maior produtividade.

Quando se utiliza uma adubação mineral nitrogenada, o nitrogênio está disponível para as plantas e está livre na solução do solo podendo ocorrer sua percolação para áreas abaixo da zona de raízes, no entanto quando se aplica lodo de esgoto o nitrogênio está preso na matéria orgânica e para ficar disponível é necessário que ocorra a mineralização.

Para determinar a quantidade de nitrogênio lixiviada oriunda da aplicação de fertilizantes e lodo é necessário realizar a subtração dos valores encontrados no tratamento sem aplicação nitrogênio (T1) para que a mineralização da matéria orgânica nativa do solo não seja computada. As perdas de nitrogênio foram 9,6%, 4,2%, 4,6%, 4,2% para os tratamentos T5, T4, T3 e T2 respectivamente em relação ao tratamento testemunha (T1). Resultados semelhantes foi encontrado por Gonçalves (2005) em experimento de campo com aplicação de lodo em café, 4% do nitrogênio aplicado via lodo foi lixiviado. Em um experimento de campo cultivado com milho sob o efeito de bio sólido, bio sólido compostado e fertilizante mineral, as maiores percentagens de lixiviação de nitrato foram respectivamente 11%, 17% e 37% no primeiro ano de cultivo e no segundo foi 11%, 13,5% e 24% (ESTELLER *et al*, 2009). Os valores encontrados para a lixiviação de nitrato com aplicação de fertilizantes minerais foram superiores aos encontrados para lodo.

Ao comparar o desenvolvimento da planta e a lixiviação de nitrato entre o T4 (maior dose de lodo) e T5 (adubação mineral), observa-se que o T4 apresentou biomassa semelhante ao T5 e lixiviou uma quantidade menor que o T5. Isso mostra que a aplicação de lodo de esgoto tem potencial para uso na agricultura, pois supriu a necessidade da planta e causou uma menor de lixiviação de nitrato.

Na última análise (02/05/2011), o volume de água lixiviada e nutrientes foi menor nos tratamentos que receberam aplicação de nutrientes em relação ao tratamento testemunha (T1) devido que as plantas apresentaram um maior crescimento tanto da parte área e das raízes. Experimentos com culturas perenes apresentam uma menor lixiviação, devido ao sistema

radicular estar desenvolvido no início da cultura. A lixiviação de nitrato foi praticamente zero na aplicação de biossólido em salgueiro (*Salix sp*) em duas texturas de solo, arenoso e argiloso, devido ao porta enxerto do salgueiro ter três anos e o sistema radicular apresentava um desenvolvimento inicial (DIMITRIOU & ARONSSON, 2011).

Quando o lodo foi aplicado, as roseiras estavam a quatro meses no balde e o sistema radicular estava já com certo grau de desenvolvimento, reduzindo assim o risco da lixiviação de nitrato. Uma preocupação com relação à aplicação do lodo no solo é que geralmente quando se realiza a aplicação, ela é feita antes do plantio e não há raízes para absorver o nitrato.

## 5.5 TAXA DE MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DO LODO DE LAGOA FACULTATIVA

A taxa de mineralização foi realizada em experimento com incubação aeróbia sem lixiviação após 126 de incubação e os valores obtidos estão na tabela 5.5. O nitrogênio extraído inicialmente é a soma das concentrações de nitrato e amônio (Tabela 5.6 e Tabela 5.7). O nitrogênio extraído após 126 dias é a somatório de todo nitrogênio mineral produzido durante 126 dias de incubação.

**Tabela 5.5:** Determinação da mineralização do nitrogênio de lagoa facultativa primária da cidade de Coronel Macedo - SP.

Tratamentos	Dose de N Aplicada	N extraído inicialmente	N extraído após 126 dias	Nitrogênio Mineralizado		
				Total	Líquido	Fração de Mineralização
-----mg kg <sup>-1</sup> -----				%		
T1	0,00	8,50	122,52	114,02	0,00	
T2	130,00	23,75	208,19	184,44	70,42	54,16
T3	260,00	28,67	257,92	229,25	115,24	44,32
T4	520,00	46,34	385,67	339,33	225,32	43,33

A fração de mineralização (FM) diminuiu com o aumento do nitrogênio aplicado via lodo de esgoto, T2 (54,16%) em relação T3 (44,32%) e T4 (43,33%). Esse efeito não foi observado no aumento da dose de T3 para T4. Os valores do nitrogênio total mineralizado nos tratamentos 2, 3 e 4 são superiores ao testemunha (T1) em aproximadamente 62%, 102% e 198%.

Boeira (2009), avaliando lodo digerido por processo anaeróbico das cidades de Franca e Barueri em colunas de lixiviação durante 224 dias, observou uma diminuição da fração de mineralização de ambos os lodos com o aumento da dose aplicada. Gonçalves (2005) também observou uma redução no FM com aumento da dose aplicada (310, 620, 930 kg N ha<sup>-1</sup>) e as frações obtidas foram 34, 28 e 18% respectivamente. Analisando duas taxas de aplicação de lodo (30 e 50 g kg solo) em dois tipos de solos, HERNÁNDEZ *et al* (2002) também concluiu que o aumento da taxa de aplicação do lodo diminuiu a FM de aproximadamente 56% para 31% no solo arenoso com lodo digerido aerobiamente e 31% para 16% para lodo digerido anaerobiamente.

Os valores para a fração de mineralização do lodo da lagoa facultativa estão acima do valor proposto para lodo não digerido na norma brasileira FM = 40%. Isso mostra a importância da realização do teste de mineralização em laboratório, pois o lodo da lagoa de Coronel Macedo apresenta um elevado grau de estabilidade quando se utiliza os parâmetros SV e ST, entretanto quando aplicado no solo o lodo apresentou uma fração de mineralização semelhante de lodo não digerido. As lagoas por serem um processo natural, o lodo formado apresenta uma taxa de estabilização da matéria orgânica lenta (VON SPERLING, 2002) e Reed *et al*, (1995) classifica o lodo de lagoa segundo sua composição como semelhante a lodo não digerido, no entanto os lodos observados por esses autores eram de países de clima frio. Essa instabilidade do lodo de lagoa pode ser oriunda do constante fornecimento de sólidos pelas algas ou bactérias, que ao morrerem vão para o fundo da lagoa (ABIS e MARA, 2005). Pode-se dizer que o lodo de lagoa é um material heterogêneo pela constante sedimentação de material produzido na lagoa ou oriundo do esgoto, sendo que na retirada desse material pode ocorrer uma mistura do material do fundo, mais estabilizado, como o lodo produzido recentemente, menos estável. Assim o lodo retirado da lagoa poderia ser classificado como não estabilizado. Para evitar que isso ocorra é importante a

realização de uma batimetria na lagoa para localizar os locais que ocorrem os maiores volumes de lodo e esse apresente uma maior estabilidade.

O grau de estabilização do lodo pode ter vários indicadores, odor, nível de redução de patógenos, teor de sólidos, toxicidade, DBO, DQO, teor de nitrogênio, entretanto é de suma importância que o grau de estabilização do lodo esteja relacionado com o destino final do lodo (FERNANDES E SOUZA, 2001). Corrêa, White, Weatherley (2005) complementam que o conhecimento dos efeitos dos processos de estabilização do lodo de esgoto sobre os atributos agronômicos do lodo são desconhecidos. Carré, Laigre e Legeas (1990) consideram que o lodo de lagoa de estabilização não é interessante para agricultura pela baixa quantidade de nutrientes, no entanto a presente pesquisa mostrou que o lodo da lagoa facultativa primária suplementado com P e K aplicado em roseira supriu a necessidade de nutrientes da planta e apresentou frações de mineralização semelhante a lodo não digerido. A aplicação de lodo de lagoa anaeróbia sem higienização em mamoeiro apresentou capacidade de suporte superior que a adubação mineral e o mesmo lodo higienizado com cal foi a melhor opção para suprir as necessidades nutricionais do mamoeiro (COSTA *et al*, 2001). Esse lodo aplicado na cultura do mamão, segundo os autores apresentava um elevado estágio de mineralização por causa do elevado tempo de residência na lagoa (15 anos) (COSTA *et al*, 2001).

O fator de mineralização para o lodo de lagoa (47%) esta abaixo do valor encontrado para o lodo do sistema de tratamento de lodo ativado com aeração prolonga de fluxo contínuo (53%) (CAS, 2009) e foi maior que o lodo de lagoas aeradas (26%) (GONÇALVES, 2005). Para lodo digerido anaerobiamente, Boeira (2009) encontrou fator de mineralização de 26% para ETE Franca, 43% ETE Barueri em coluna aeróbia com lixiviação e Boeira *et al*, (2002) encontrou também para os dois lodo FM = 31% pelo método de incubação aeróbia sem lixiviação. Como forma complementar ao presente estudo é importante a realização do teste de mineralização do lodo de lagoa facultativa com outro método, como o método com lixiviação em laboratório ou o método em campo.

O método de determinação da mineralização do nitrogênio sem lixiviação geralmente excede os valores encontrados por outros métodos como no método com lixiviação (Parker e Sommer, 1983). Ainda que os valores referente a fração de mineralização dos pesquisadores

brasileiros podem apresentar variações nos valores por causa do método utilizado, é possível verificar que esses valores não condizem com os valores orientadores da norma brasileira. Assim sendo, é necessário uma revisão da norma.

No início da incubação o solo tratado com lodo de esgoto produziu elevada concentração de  $\text{NH}_4^+$  (Tabela 5.6), que diminuiu até o final do experimento. Essa diminuição na concentração de  $\text{NH}_4^+$  é seguida pelo aumento nos teores de  $\text{NO}_3^-$ . Utilizando o método de incubação aeróbia em solo arenoso com três resíduos orgânicos diferentes, lodo de esgoto compostado, lodo de fábrica de papel não compostado e composto de lodo com resíduos agroflorestais, BURGOS, MADEJÓN e CABRERA (2006) observaram a mesma tendência na produção do  $\text{NH}_4^+$ . O lodo compostado apresentou fração de mineralização de 32%, valor acima do recomendado para lodo compostado, experimento esse que utilizou uma temperatura padrão de 28° C. Boeira (2009) também observou uma predominância maior lixiviação de  $\text{NH}_4^+$  nas duas primeiras semanas e depois começou a lixiviação de nitrato.

**Tabela 5.6:** Teores de nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) determinado durante 126 dias.

Tratamento	Período de incubação (dia)										
	0	7	14	28	42	56	70	84	98	112	126
-----mg kg <sup>-1</sup> -----											
1	4,10	0,00	0,00	4,23	0,00	0,00	1,58	1,77	2,93	0,79	0,39
2	17,71	3,05	3,91	1,92	0,00	2,15	2,52	1,76	4,01	0,92	2,28
3	24,48	6,18	1,64	13,38	3,08	1,40	3,31	1,67	3,81	1,63	1,35
4	37,48	28,18	12,16	1,66	3,02	2,12	5,02	3,43	3,98	1,64	1,48

A mineralização do lodo de lagoa apresentou uma maior produção de  $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$  a partir da terceira semana e diferentemente de outros trabalhos (HERNÁNDEZ et al, 2002; CAS, 2009) que apresentaram uma elevada mineralização no início do experimento diminuindo até o final do experimento, essa pesquisa apresentou uma elevada produção de  $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$  no final do experimento.

Uma maior produção de  $\text{NH}_4^+$  no início do experimento tem a vantagem do amônio ser menos propenso a lixiviar que o nitrato e assim minimiza a lixiviação de nitrato para uma área abaixo zona de absorção das raízes. Um outro fator importante é que quando é aplicado lodo no solo geralmente o sistema radicular das plantas ainda não estão desenvolvido e se ocorresse uma maior produção de nitrato ao invés de amônio, esse nitrato irá lixiviar e poderá contaminar as águas subterrâneas.

A partir da sexta semana (Tabela 5.7) foi produzida maior quantidade de nitrogênio na forma de nitrato, possivelmente pelo desenvolvimento das bactérias responsáveis pela nitrificação. Essa baixa concentração de nitrato no início de experimento de laboratório também foi observada em campo (Tabela 5.4). A aplicação de lodo de esgoto diminuiu o pH do solo (Tabela 5.8), essa acidificação do solo possivelmente ocorreu pela nitrificação e pelo aumento da dose de aplicação do lodo (BOEIRA e MAXIMILIANO, 2009). Kray (2005) também observou uma diminuição do pH do solo com aplicação de lodo de esgoto.

**Tabela 5.7:** teores de nitrogênio nítrico determinado durante 126 dias

Tratamento	Período de incubação (dia)										
	0	7	14	28	42	56	70	84	98	112	126
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----										
1	4,40	2,18	3,24	7,96	10,41	8,25	10,30	18,66	20,41	10,64	10,27
2	6,04	5,06	4,08	5,41	10,71	14,40	23,48	22,04	24,31	33,25	19,16
3	4,19	3,12	7,22	9,47	20,67	19,56	21,23	22,58	30,58	29,23	28,16
4	5,64	2,26	8,29	21,67	28,70	27,55	33,10	31,73	52,47	31,16	39,72

**Tabela 5.8:** Valores de pH durante o experimento de mineralização do nitrogênio

Tratamento	Período de incubação (dia)											
	0	7	14	28	42	56	70	84	98	112	126	MÉDIA
1	6,53	6,15	6,48	6,05	6,55	6,97	6,34	6,29	7,06	6,66	6,66	6,01
2	6,56	6,82	6,29	7,13	6,47	6,86	6,46	6,41	6,54	6,17	6,17	6,15
3	6,38	6,50	6,16	6,40	6,56	6,89	6,53	6,36	6,02	6,44	6,44	6,11
4	6,24	6,63	6,01	5,96	6,35	6,26	6,42	5,97	6,54	6,03	6,03	6,03

## 6 CONCLUSÃO

Com base na pesquisa realizada foi possível concluir que:

- A fração de mineralização (FM) do lodo da lagoa facultativa primária de Coronel Macedo - SP, determinada com o método sem lixiviação e incubação aeróbia, foi de 40%, valor esse superior ao estabelecido pela resolução CONAMA 375/06 para lodo digerido anaerobiamente.
- A aplicação de lodo de lagoa facultativa primária com suplementação de fósforo e potássio proporcionou aumento da biomassa de raízes e parte aérea, área da folha e teor de nitrogênio.
- As perdas de nitrato lixiviado na água drenada dos vasos foi de aproximadamente 5% nos tratamentos com aplicação de lodo (T2 - 12 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo em base seca (BS), T3 - 24 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo BS (dose calculada), T4 - 36 Mg ha<sup>-1</sup> lodo BS) e na adubação mineral 10% (T5).
- A melhor dose de aplicação do lodo da lagoa facultativa de Coronel Macedo - SP em roseira cultivada em vaso e com a variedade 'Carola' foi 36 Mg de lodo seco por hectare.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados encontrados nessa pesquisa, são necessários a realização de pesquisas complementares para um maior aprofundamento do tema:

- Determinação da fração da mineralização de lodo de lagoa facultativa primária com outro método (incubação com lixiviação ou outro) e em diferentes tipos de solo.
- Realizar a fração de mineralização de nitrogênio em lodo de esgoto gerado nos diferentes sistemas de lagoas (anaeróbia, maturação, aeróbia e facultativa).
- Pesquisar a aplicação do lodo de lagoa facultativa em roseira em condições de campo.
- Como forma de avaliar a retirada de nitrogênio pela roseira é necessário determinar a concentração desse elemento nas raízes das plantas.

## REFERÊNCIA

ABIS, K. L.; MARA, D. Research on waste stabilization ponds in the united kingdom: sludge accumulation in pilot-scale primary facultative ponds. **Environmental Technology**, v.26, n.4, p.449-458. 2005.

ABREU, M. F. et al. Análises químicas de fertilizantes orgânico (urbanos). In SILVA, F. C. (Ed) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2º Ed. Brasília –DF: Embrapa tecnológica, 627p. 2009.

ALCÂNTARA, R ; KONIG, A.; BELTRÃO, N. E. M. Aplicação do lodo de esgoto na cultura do algodoeiro herbáceo. II-Fitomassa radicular. In: **Congresso Brasileiro do algodão**, 2003, Goiânia. Anais do Congresso Brasileiro do Algodão, 2003.

ALONSO, E.; VILLAR, P.; SANTOS, A.; APARICIO, I. Fractionation of heavy metals in sludge from anaerobic wastewater stabilization ponds in southern Spain. **Waste Management**. v.26, p.1270-1276. 2006.

ANDRADE, C. A.; BOEIRA, R. C.; PIRES, A. M. M.; Nitrogênio presente no lodo de esgoto e a resolução nº 375 do CONAMA. In COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M.; **Uso agrícola do lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA**. Botucatu: Fepaf. Cap 8. 2010.

ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. Avaliação do comportamento vertical de nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal e pH em leiras de lodo de esgoto caçado. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.18, n.18, p.63-70, jul./dez. 2002.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING M. V.; FERNANDES F. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; SANEPAR, 484p. 2001.

ANTOLÍN, M. C.; MURO, I.; SÁNCHEZ-DÍAS, M. Applications of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions. **Environmental and experimental botany**. v.68. p.75-82. 2010.

ATKINSON, D. Root Characteristics: why and what measure. In SMIT, A. L.; BENGOUGH, A. C.; ENGELS, C.; NOORDWISH, M.; PELLERIN, S.; GEIN, S. C. (eds) **Root methods a handbook**. Cap 1. 2000.

AZEVEDO NETTO, J. M. lagoa de estabilização. In AZEVEDO NETTO, J. M. **lagoa de estabilização**. 2ed. São Paulo, Cetesb. Cap 1, 1975.

BACKES, C. **Aplicação e efeito do lodo de esgoto em sistemas de produção de tapetes de grama esmeralda**. Tese de doutorado. Unesp. Faculdade de ciências agrônômicas. Botucatu. 2008.

BACKES, C.; BULL, L. T.; GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L. T.; LIMA, C. P.; PIRES, E. C. Uso de lodo de esgoto na produção de tapetes de grama esmeralda. **Ciência Rural**, Santa Maria. v.39, n.4, p.1045-1050. Jul. 2009.

BACKES, C.; LIMA, C. P.; GODOY, L. J. G.; SANTOS, A. J. M.; VILLAS BÔAS, R. L. T.; BULL, L. T. Produção, acúmulo e exportação de nutrientes em grama esmeralda adubada com lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas. v.69. n.2, p.413-422. 2010.

BARBIERI, R. L; STUMPF, E. R. T. Origem, evolução e história das rosas cultivadas R. bras. **Agrociência**, Pelotas, v.11, n.3, p.267-271, jul-set, 2005.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciência agrária**. Londrina. v.27, n.4, p.586-580. 2006.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista brasileira de ciência do solo**. v.31, p.601-605. 2007.

BARROS, I. T.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. Avaliação agrônômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.15, n.6, p.630-638. 2011.

BENBI, D. K.; RICHTER, J. A critical review of some approaches to modeling nitrogen mineralization. **Biology and Fertility of Soils**. v.35. p.168-183. Abril. 2002.

BEZERRA, L. J. D.; LIMA, V. L. A.; ANDRADE, A. R. S.; ALVES, V. W.; AZEVEDO, C. A. V.; GUERRA, H. O. C. Análise de crescimento do algodão colorido sob efeitos da aplicação de água residuária e biossólido. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental** (suplemento). 2005.

BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. 3 ed. Department of Environmental Engineering Sciences University of Florida, Gainesville, Florida. 2005. ISBN0-471-65071-4.

BOARETTO, A. E.; RAIJ, B. V.; SILVA, F.C.; CHITOLINA, J.C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise químicas. In SILVA, F. C. (Ed) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2º Ed. Brasília –DF: Embrapa tecnológica, 627p. 2009.

BOEIRA, C. R. Lixiviação de nitrogênio em latossolo incubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, p.947-958. 2009.

BOEIRA, R. C. Aspectos experimentais na avaliação da mineralização de nitrogênio de lodos de esgotos incubados com solos. **Comunicado técnico 27**. Jaguariúna-SP. Jul. 2005. ISSN 1516-8638.

BOEIRA, R. C. Fração de mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto. **Congresso brasileiro de resíduos orgânicos**. Vitória – ES. 2009. In COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S (Org). Anais do congresso.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília. v.37, n.11, p.1639-1647. 2002.

BOEIRA, R.C.; MAXIMILIANO, V. C. B. Mineralização após aplicações de lodos de esgoto em quatro cultivos de milho. **Revista brasileira de ciência do solo**. v.33, n.1, p.207-218. 2009.

BOEIRA, R.C.; MAXIMILIANO, V. C. B. Determinação da fração de mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto: um método alternativo. **Comunicado técnico 13**. Jaguariúna, SP. Abril 2004. ISSN 1516-8638.

BOEN, A.; HARALDSEN, T.K. Fertilizer effects of increasing loads of composts and biosolids in urban greening. **Urban forestry & Urban greening**. v.10, p.231-238. 2011.

BOUMA, T.J.; Nielsen, K. L.; Koutstaal, B.; Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. **Plant and soil**. Jan. 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providência. **Diário Oficial**, Brasília, 26 de março de 2004.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. Cadeias produtivas de flores e mel. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA). **Série de agronegócio**. v.9. Janeiro de 2007.

BURGOS, P.; MADEJÓN, E.; CABRERA, F.; Nitrogen mineralization and nitrate leaching of a sandy soil amended with different organic wastes. **Waste management & research**. v.24. n.175. p.175-182. 2006.

CABRERA, R. I.; EVANS, R.Y.; PAUL, J. L. nitrogen partitioning in rose plants over a flowering cycle. **Scientia horticultrae**. v.63. p.67-76. 1995.

CANTARELLA,H.; TRIVELLIN, P. C. Determinação de nitrogênio total em solo. In RAIJ, B. V.; DE ANDRADE, J.C. CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; **Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto agrônômico. Cap 18. 285p. 2001.

CANTARELLA,H.; TRIVELLIN, P. C. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In RAIJ, B. V.; DE ANDRADE, J.C. CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; **Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto agrônômico. Cap 19. 285p. 2001.

CARRÉ, J.; LAIGRE, M.P.; LEGEAS, M. Sludge removal from some wastewater stabilization ponds. **Water Science Technology**. v.22. p.247-252. 1990.

CAS, V. L. S. **Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo com o uso de lodo de esgoto e palha de aveia**. Dissertação (Mestrado em ciência do solo). Centro de ciências rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

CASARINI, E. **Doses de N e K aplicados via fertirrigação na cultura da roseira (*Rosa sp.*) em ambiente protegido**. 2004. 102f. Tese (Doutorado em agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CASARINI, E.; FOLEGATTI, V.; Aspectos importantes na nutrição mineral de rosas. In: FLÓREZ, V.J.R. (Eds). **Avances sobre fertirriego em la floricultura colombiana**. Bogotá: Universidad nacional de Colômbia. Facultad de agronomia. 2006. ISSN: 958-701-722-6.

CEAROSA. Ceará Rosas. Disponível em: <http://www.cearosa.com.br/> Acesso em: 3 de junho 2011.

CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. São Paulo, 1999. 32 p. (Manual Técnico, P4.230).

CHIBA, M. K.; MATTIAZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C.; Cultivo de cana de açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. II – Fertilidade e nutrição de plantas. **Revista brasileira de ciência do solo**. v.32. n.2. Viçosa. Março – abril. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário oficial da Republica federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 9 de junho de 2011.

CONTE E CASTRO, A. M.; BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D. Nutrição mineral de crisântemo de corte submetidos a diferentes doses de lodo de esgoto e composto de lixo urbano. **Scientia Agraria Paranaensis**. v.6, p.21-30, 2007.

CONTE, M. L.; CONTE E CASTRO, A. M.; BRENDA, C. C.; CRUZ, R. L.; FERNANDES, C. S. B. Qualidade da água resultante da utilização de composto de lixo urbano e lodo de esgoto na cultura de crisântemo. **Scientia Agraria Paranaensis**. v.5. n.1. p.21-32. 2006.

CORREA, R. S. Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass. **Pesq. agropec. bras.** v.39, n.11. p 1133-1139. 2004.

CORREA, R. S.; WHITE, R. E.; WEATHERLEY, A. J. Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. **Scientia agricola**. v.62, n.3. p.274-280. 2005.

COSCIONE, A. N.; ANDRADE, C. A.; Protocolos para avaliação da dinâmica de resíduos orgânicos no solo. In ANDRADE, J. C.; ABREU, M.F (Eds). **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais**. Campinas, Instituto agrônomo, Cap 10. 2006.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S.; SILVA, A. L. B.; ANDRADE, M. C. F. E.; GONÇALVES, R. F. Utilização agrícola do lodo de ETE anaeróbia como fonte de matéria orgânica e nutriente no mamoeiro. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, João Pessoa, Brasil, 2001.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S.; MARQUES, M. O.; SANTANA, R. S. Estudo de caso – Utilização de lodo de estações de tratamento de esgotos (ETE) na cultura do mamoeiro no norte do Estado do Espírito Santo. In ANDREOLI, C.V (Coor). **Resíduos sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Rima: abes, 2001.

DE MARIA, I. C.; CHIBA, M. K.; COSTA, A.; BERTON, R. S. Sewage sludge application to agriculture land as soil physical conditioner. **Revista brasileira de ciência do solo**. v.34. p.967-974. 2010.

DIMITRIOU, I.; ARONSSON, P. Wastewater and sewage sludge application to willows and poplars grown in lysimeters – plant response and treatment efficiency. **Biomass and Bioenergy**. v.35. p.161-170. 2011.

DYNIA, J. F.; BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. Nitrato no perfil de um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho sob aplicações sequenciais de lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). **Lodo de Esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna. Embrapa meio ambiente 349p. 2006.

ESTELLER, M. V.; MARTÍNEZ-VALDÉS, H.; GARRIDO, S.; URIBE, Q. Nitrate and phosphate leaching in a Phaeozem soil treated with biosolids, composted biosolids and inorganic fertilizer. **Waste management**. v.29. p.1936-1944. 2009.

FERNANDES, F.; SOUSA, S.G. Estabilização de lodo de esgoto. In: ANDREOLLI, C. V (Coor). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro. Rima, Abes. 2001.

FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, F., REYES-VARELA, V., MARTÍNEZ-SUÁREZ, C., SALOMÓN-HERNÁNDEZ, G., YÁÑEZ-MENESES, J., CEBALLOS-RAMÍRES, J.M., DENDONVEN, L. Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Bioresource technology**. v.101. p.396-403. 2010.

FERRAZ, A. V. **Ciclagem de nutrientes e metais pesados em plantios de Eucalyptus grandis adubados com lodos de esgoto produzidos em diferentes estações de tratamento da região metropolitana de São Paulo**. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 2009.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Risco associados ao uso do lodo de esgoto. In **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. PROSAB, Curitiba. 1999.

FERREIRA, T. L. Utilização do lodo de esgoto na implantação de cafezal em latossolo vermelho distrófico. **Dissertação** (mestrado em gestão dos recursos agroambientais). IAC. 91p. 2005.

FILIZOLA, H. F.; SOUZA, M. D.; GOMES, A. F.; BOEIRA, R. T. Aspectos físicos de um solo tratado com lodo de esgoto: Estabilidade de agregados e argila dispersa em água. In BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A (Eds). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Embrapa meio ambiente, Jaguariúna. Cap 8. 2006.

FIRME, L. P. **Produção de madeira e elementos potencialmente tóxicos no sistema solo-eucalipto tratado com lodo de esgoto**. Tese de doutorado. Centro de energia nuclear na agricultura da universidade de São Paulo. 2009.

FRANÇA, J. T. L. **Remoção de lodo de lagoa facultativa: avaliação quantitativa e qualitativa do lodo acumulado e seu acondicionamento em BAG**. Dissertação (mestrado em saneamento e ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. 2010.

FRANÇA, J. T. L.; STEFANUTTI, R.; CORAUCCI FILHO, B.; ANARUMA FILHO, F.; FRANÇA, L. L. L. **Remoção de lodo de lagoas e seu acondicionamento em BAG**. VII Simpósio Interamericano de Biossólidos. Campinas-sp. Anais do congresso. 2010.

FRANÇA, J. T. L.; STEFANUTTI, R.; CORAUCCI FILHO, B.; ANARUMA FILHO, F.; FRANÇA, L. L. L. **Remoção de Lodo de Lagoas de Estabilização e seu Acondicionamento em bag**. Revista DAE. n.185. Janeiro de 2011.

FRANCO, A. **Aplicação de lodo de esgoto em cana-planta como fonte de nitrogênio e fósforo e seu impacto ambiental**. Tese de doutorado. Centro de energia nuclear na agricultura da universidade de São Paulo. 2009.

FUENTES, A.; LLORÉNS, M.; SÁEZ, J.; AGUILAR, M. I.; ORTUÑO, J.; MESEGUER, V. F. Comparative study of six different sludges by sequential speciation of heavy metals. **Bioresource technology**. v.99. p.517-525. 2008.

GADIOLI, J. L.; FORTES NETO, P. Rendimento de milho e feijão preto cultivado em solo acrescido de lodo de esgoto. **Revista técnica da sanepar**. v.21, n.21. p.53-58. Jan/ Jun. 2004.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.11, n.5. p.459-465, 2007.

GONÇALVES, R. F. Introdução ao gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização. In GONÇALVES, R. F. **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Cap 1. Dez. 1999.

GONÇALVES, R. F. Formação de lodos em lagoas de estabilização anaeróbias ou facultativas primárias. In GONÇALVES, R. F. **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Cap 2. Dez. 1999.

GONÇALVES, R. F.; LIMA, M. P.; PASSAMANI, F. R. F. Característica físico-químicas e microbiológicas do lodo de lagoa. In GONÇALVES, R. F. **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Cap 4. p 23-34. Dez. 1999.

GONÇAVES, F. T. A. **Dinâmica do nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com café**. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Agroambientais) Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, 2005.

GREGORY, P.J. Plant Roots: **Growth, activity and interaction with soil**. ISBN 978-1-4051-1906-1. 2007.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptos Grandis***. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 2005.

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucaliptos fertilizados com biossólido. **Scientia forestalis**. n.63. p.188-201. Jun. 2003.

HERNÁNDEZ, T.; MORAL, R.; PEREZ-ESPINOSA, A.; MORENO-CASELLES, J.; PEREZ-MURCIA, M. D.; GARCÍA, C. Nitrogen mineralization potential in calcareous soils amended with sewage sludge. **Bioresource technology**. v.83. p.213-219. 2002.

HESS, M. L. Lagoas Facultativas. In: AZEVEDO NETTO, J. M. **lagoa de estabilização**. 2ed. São Paulo, Cetesb. Cap 7, 1975.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro. ISBN 978-85-240-4135-8 (meio impresso). 2010.

ITO, L. Y. Característica de biossólidos produzidos em lagoas de estabilização. In Tsutiya. M. T (Eds.) **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, Cap 4. 2001.

JOHANSSON, J. Effects of nutrient levels on growth, flowering and leaf nutrient content on greenhouse roses. **Acta agriculturae scandinavica**. n.28. p.363-386. 1978.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgoto doméstico: Concepções clássicas de tratamento de esgoto**. São Paulo: Cetesb. v.1, 1975. 544p.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. **Análise conjuntural do comércio exterior da floricultura brasileira**. Disponível em:[http://www.hortica.com.br/artigos/2010\\_1\\_Sem\\_Com\\_Exterior\\_Floricultura\\_Brasileira.pdf](http://www.hortica.com.br/artigos/2010_1_Sem_Com_Exterior_Floricultura_Brasileira.pdf)>. Acesso em: 29 de Maio. 2010.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. **Lagoas de Estabilização: projetos e operação**. Rio de Janeiro: ABES, 244p. 1998.

KONATE, Y.; MAIGA, A. H.; WETHE, J.; BASSET, D.; CASELLAS, C.; PICOT, B. Sludge accumulation in an anaerobic pond and viability of helminthes eggs: a case study in Burkina Faso. **Water Science & Technology**. v.61. p.919-925. 2010.

KRAY, C. H. Resposta das plantas e modificações das propriedades do solo pela aplicação de resíduos urbanos. **Tese de doutorado** (Pós- graduação em ciência do Solo). Porto alegre. 2005.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, L. H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la Ciencia Suelo y Nutrición Vegetal**. 2007, v.7, n.3, p.16-25. 2007.

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.

MACEDO, J. R.; SOUZAS, M. D.; REICHARDT, K.; BACCHI, .O. O. S. Atributos físicos e hídricos em solo tratado com lodo de esgoto. In BETTIOL,W.; CAMARGO, O.A (Eds). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Embrapa meio ambiente, Jaguariúna. Cap 11. 2006.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5° Ed. São Paulo. Agronômica Ceres. 1989. 292p.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. Adubos e Adubações. São Paulo: Nobel, 2002. 200p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Editora Agronômica Ceres, 683p. 2006.

MARA, D. Waste stabilization ponds: a highly appropriate wastewater treatment technology for Mediterranean countries. In AL BAZ, I; OTTHERPOHL, R; WENDLAND,C. **Efficient**

**management of wastewater: its treatment and reuse in water-scarce countries.** Ed Springer. 303p. 2008.

MARTINS, L. F. S.; POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R. F.; GUEDES, M. C. GONÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescente de biossólidos. **Scientia Forestalis**. v.65. p.207-218. Jun. 2004.

MATA-GONZALES, R.; SOSEBEE, R. E.; WAN, C. G. Shoot and root biomass of desert grasses as affected by biosolids application. **Journal Arid Environmental**. v.50, p.477-488. 2002.

MEDRI, W.; COSTA, R. H. R.; MEDRI, V. Avaliação de dois sistemas de lagoas de estabilização do samae de Iporã-PR. **Revista técnica da sanepar**. v.24. n.24. Jan-jun. 2006.

MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Impactos dos biossólidos sobre o solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; (Eds.) **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, Cap 9. 2001.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V.P. O uso do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; (Eds.) **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, Cap 11. 2001.

MITSUEDA, N. C.; COSTA, E. V.; D'OLIVEIRA, P. S.; Aspectos ambientais do agronegócio flores e plantas ornamentais. **Revista em agronegócio e meio ambiente**. v.04, nº1, p.9-20. Jan/abr. 2011. ISSN 1981-9951.

MIYAZAWA, M. *et al*, Análise química de tecido vegetal. In SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2º Ed. Brasília-DF: Embrapa tecnológica, 627p. 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Editora UFLA. 2ed. 2006.

MULLER, P. S. G.; PASSAMANI, F. R. F.; GONÇALVES, R. F. Características físico-químicas e microbiológicas de lodos de lagoas facultativas e anaeróbias em operação no espírito santo. In: **20º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**, Anais. ABES, CD-ROM. 1999.

NAMÈCHE, T.; CHABIR, D.; VASEL, J. Characterization of sediments in aerated lagoons and waste stabilization ponds. **International Journal of environmental analytical chemistry**. v.68, n.2, p.257-259. 1997.

NAVAL, L. P.; SILVA, J. B. Caracterização do lodo proveniente das estações de águas residuárias de Palmas avaliando o seu potencial fertilizante. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, João Pessoa, Brasil, 2001.

NELSON, K. L.; CISNEROS, B.J.; TCHOBANOGLIOUS, G.; DARBY, J. L. Sludge accumulation, characteristics and pathogens inactivation in four primary waste stabilization ponds in central México. **Water Research**. v.38. p.111-127. 2004.

NOGUEIRA, T. A. R.; MARQUES, M. O.; UCOUÇA, F. A.; FONSECA, I. A. Algodoeiro cultivado em solo tratado com calcário, lodo de esgoto e cádmio. **Journal soil science nutrition**. v.7. n.1. p.74-87. 2007.

NRC. National Research Council. **Biosolids Applied to Land: Advancing Standards and Practices**. Committee on Toxicants and Pathogens in Biosolids Applied to Land ISBN: 0-309-57036-0, 368p. 2002.

NRC. National Research Council. **Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production**. Committee on the Use of Treated Municipal Wastewater Effluents and Sludge in the Production of Crops for Human Consumption. 1996.

OAKLEY, S. M.; POCASANGRE, A.; FLORES, C.; MONGE, J.; ESTRADA, M. Waste stabilization pond use in Central America: the experiences of El Salvador, Guatemala, Honduras and Nicaragua. *Water Science and Technology*, v.10, n.42, p.51-58, 2000.

OLIVEIRA, C.; SOBRINHO, N. M. B. A.; MARQUES, V. S.; MANZUR, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. **Revista brasileira de ciência do solo**. v.29. p.109-116. 2005.

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

PARKER, C. F.; SOMMERS, L. E. Mineralization of nitrogen in sewage sludge. **Journal of Environmental Quality**, v.12, n.1, p.150-156, 1983.

PEDROZA, J. P.; HAANDEL, A. C. van; BELTRAO, N. E. de M.; DIONISIO, J. A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.7, n.3, p.483-488. 2003.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14<sup>a</sup> edição. Piracicaba. Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 477p. 2000.

PINTO, M. T. Higienização de lodos. In ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.; **lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária – UFMG: Companhia de saneamento do Paraná. 2001.

PROSAB. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro; ABES. 1999.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba. Ed agrônômica Ceres e associação Potafos, 1991.

REED, S.C.; CRITES, R.W.; MIDDLEBROOKS, E. J. **Natural systems for waste management and treatment**. ISBN 0-07-060982-9. 1995.

ROUPHAEL, Y.; MOUNEIMNE, A. H.; ISMAIL, A.; MENDOZA-DE GYVES, E.; C. M. RIVERA, C. M.; COLLA, G. Modeling individual leaf area of rose (*Rosa hybrida L.*) based on leaf length and width measurement. **Photosynthetica**. v.48. n.1, p.9-15. 2010.

SÁ, C. D. **Propriedade intelectual na cadeia de flores e plantas ornamentais: uma análise da legislação brasileira de proteção de cultivares**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. São Paulo. 2010. 229p.

SANTOS, H. F. Normatização para o uso agrícola dos biossólidos no exterior e no Brasil. In ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de Esgoto: Tratamento e Disposição Final**. Belo Horizonte, departamento de engenharia sanitária e ambiental – UFMG. 484p. 2001.

SANTOS, V. L. F. S.; KIYUNA, I. Floricultura no Estado de São Paulo: novas fronteiras. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.34, n.6, p.49-57, 2004.

SILVEIRA, R. B. A. Tentativas de padronização de crisântemos de corte para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v.3, n.2, p.10-14, 1997.

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, n10. p.1187-1195. 2003.

SINGH, R.P.; AGRAWAL, M. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. **Ecotoxicology and environmental safety**. v.73. p.632-641. 2010.

SOARES, C. B. L. V. **O livro de ouro das flores**. Rio de Janeiro. Ed. Ediouro. 2004.

SONNEVELD, C. VOOGT, W. **Plant Nutrition of Greenhouse Crops Plant nutrition of Greenhouse Crops**. Springer; 1 edição. Outubro 2009. ISBN978-90-481-2531-9.

TAKANE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V.; CASARINI. **Cultivo de rosas**. 1. ed. Brasília (DF): LK Editora e Comércio de Bens Editoriais e Autorais, 172p. 2007.

TAMIMI, Y.N.; MATSUYAMA, D.T.; TAKATA, K.D.I.; NAKANO, R.T. Distribution of nutrient in CUT-flower roses and the quantities of biomass and nutrients removed during harvest. **Horticulture Science**. v.34. n.2. p.251-253. 1999.

TSUTIYA, M. T. Característica de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; (Eds.) **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, Cap 4. 2001.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; (Eds.) **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, Cap 5. 2001.

UEHARA, M. Y. **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo: Cetesb. 91p. 1989.

VAN NOORDWIJK, M.; BROUWER.; HARMANNY, K. Concepts and methods for studying interactions of roots and soil structure. **Geoderma**, v.56. p.351-375. 1993.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C.; **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2º Ed. Campinas, Instituto Agronômico. 1997. 285p.

VEGA, F. V. A.; BOVI, M. L. A.; GODOY JÚNIOR, G.; BERTON, R. S. Lodo de esgoto e sistema radicular da pupunheira. **Revista Brasileira de ciência do solo**.v.29. p.259-268, 2005.

Veiling Coperativa de Rosas. <http://www.veiling.com.br/catalogo/catalogoFlores.html#> acesso em 1 de junho de 2010.

VIEIRA, F. R.; CARDOSO, A. A. Variações nos teores de nitrogênio em solo suplementado com lodo de esgoto. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília. v.38. p.867-874. jul 2003.

VILLAS BÔAS R. L.; GODOY L. J. G; BACKES C; LIMA C. P; FERNANDES D. M. Exportação de nutrientes e qualidade de cultivares de rosas em campo e em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira** v.26, p.515-519. 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 2ed. Belo Horizonte: departamento de engenharia sanitária e ambiental. 1996. 243p.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização**. 2ed. Belo Horizonte: departamento de engenharia sanitária e ambiental. 2002. 196p.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: departamento de engenharia sanitária e ambiental. 1996. 211p.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F.; Lodo de esgoto: característica e produção. In ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.; **lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária – UFMG: Companhia de saneamento do Paraná. Cap 2. 2001.

VON SPERLING, M.; JORDÃO, E. P.; KATO, M. K.; SOBRINHO, P. A.; BASTOS, R. K. X.; PIVELLI, R. Lagoas de Estabilização. In GONÇAVES, R. F. (Coord). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro : ABES, Rima, 438 p. 2003.

WERTHER, J.; OGADA, T. Sewage sludge combustion. **Progress in energy and combustion science**. p.55-116. February 1999.

## ANEXO 1

	A <sub>1</sub>	C	L	A <sub>2</sub>	(A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>
folha 01	8,556	4,940	2,551	9,595	1,080
folha02	7,174	4,141	2,248	7,235	0,004
folha 03	7,300	4,887	2,328	8,716	2,007
folha 04	7,992	4,610	2,328	8,256	0,070
Outlier					
folha 06	14,361	6,163	3,304	15,163	0,643
folha 07	12,762	5,015	3,142	11,857	0,818
folha08	10,459	5,106	3,021	11,622	1,353
folha09	6,881	4,427	2,318	7,918	1,076
folha 10	10,310	4,752	3,067	11,011	0,492
folha11	7,841	4,952	2,460	9,293	2,106

A<sub>1</sub> = Área do folíolo analisada no programa Autocad.

C e L= Comprimento e Largura do folíolo respectivamente

A<sub>2</sub> = Área do folíolo conforme proposto por ROUPHAEL *et al* (2010)

Soma dos quadrados = 9,64

Média dos erros = 0,96

