



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

Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: avaliação da produtividade agrícola

Luís Antônio Salomão

**Campinas
2012**

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

Luís Antônio Salomão

**Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa:
avaliação da produtividade agrícola**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e urbanismo da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti

**Campinas
2012**

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

Sa36i Salomão, Luís Antônio
Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: avaliação da produtividade agrícola / Luís Antônio Salomão. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: Ronaldo Stefanutti.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Efluente. 2. Irrigação. 3. Eucalipto. 4. Produtividade Agrícola. I. Stefanutti, Ronaldo. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Eucalyptus irrigation with pond sanitary sewage: evaluation of agricultural productivity

Palavras-chave em Inglês: Effluent, Irrigation, Eucalyptus, Agricultural productivity

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Adriano Luiz Tonetti, Denis Miguel Roston

Data da defesa: 29-02-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

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

Luís Antônio Salomão

**Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa
facultativa: avaliação da produtividade agrícola**

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



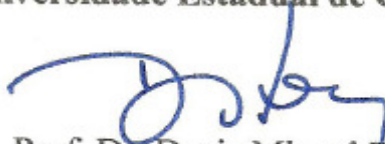
Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti

Presidente e Orientador / Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti

Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Denis Miguel Roston

Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 29 de Fevereiro de 2012.

Dedicatória

A minha esposa Virgínia e meus filhos Vítor e Luísa

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti, pela orientação, dedicação, apoio, paciência e ensinamentos;

Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho pelo apoio e ensinamentos;

Ao Prof. Denis Miguel Roston, diretor da FEAGRI, pelo apoio e ensinamentos;

A minha esposa Virgínia, meus filhos Vítor e Luísa e meus pais, Luiz e Noêmia, pelo apoio incondicional, paciência e carinho a mim dedicado;

À FAPESP e ao PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico) pelos recursos empregados na pesquisa;

Ao Colégio Prof. Carmelino Correa Júnior, por ceder a área para a pesquisa;

À SABESP, Unidade Pardo/Grande com sede em Franca-SP, na pessoa do seu superintendente Gilson Santos Mendonça, pela disponibilização do efluente da ETE City Petrópolis, pelo apoio logístico e laboratorial;

Aos laboratórios da FEAGRI e FEC - Unicamp que apoiaram tecnicamente o projeto;

À VCP - Votorantim Celulose e Papel, Unidade Florestal SP (Capão Bonito/viveiro de mudas) por ceder as mudas clonadas para instalação da pesquisa;

Ao amigo Engenheiro Orlando Antunes Cintra Filho, por ter me incentivado, pelo apoio irrestrito e colaboração direta no trabalho;

Ao amigo Engenheiro Alex Henrique Veronez, pelo apoio irrestrito e colaboração direta no trabalho;

Ao Engenheiro José Paulo Zamarioli, Gerente do Departamento de Gestão de Desenvolvimento Operacional da SABESP de Franca pelo apoio;

A todos os estagiários que passaram pela pesquisa pelo apoio e colaboração direta no trabalho, especialmente à amiga Bethania Vieira Cavalheiro, que integra a equipe da pesquisa desde seu início;

A todos os funcionários do laboratório da Divisão de Controle Sanitário e Ambiental da SABESP de Franca: Ademar, André Bagatim, André Mendonça, Cláudia, Elaine, Flávio, Frank, Gabriel, Gelson, Giovanna, Josimar, Karla, Linaldo, Márcia, Marcão, Carmosina, Célia, Lilian, Mary, Matheus, Nassif, Paulo, Rodrigo, Da. Remilde, Sr. João Maia, Sr. Hildebrando e Da.Santina, em especial a todos que apoiaram no cadastro dos pontos de coleta, na coleta de amostras e na realização dos ensaios.

Aos amigos Luciano Reami, Antonio Sérgio Spolaor e Wanderlei Pim pela colaboração e companheirismo nas viagens para Campinas;

Aos colegas Giovani Archanjo Brota, Jorge Paixão, Luccas Erickson de Oliveira Marinho e Giuliano Gabrielli pela colaboração.

Resumo

SALOMÃO, Luís Antônio. **Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: Avaliação da produtividade agrícola.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 116p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012.

O tratamento de efluentes domésticos é uma necessidade para a manutenção da qualidade dos corpos hídricos, da biota natural dos sistemas bem como para a conservação dos recursos naturais. Neste sentido, as lagoas de estabilização são bastante utilizadas no Brasil como sistema de tratamento de efluentes sanitários. O pós-tratamento de lagoa de estabilização adotando-se o reúso de efluentes sanitários na irrigação de culturas agrícolas é prática recomendável para complementar o tratamento do efluente e/ou fornecer nutrientes necessários para o desenvolvimento de culturas agrícolas, mas devem ser avaliados os impactos ambientais. Neste sentido, foi desenvolvida, na UGRHI 08 (Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sapucaí/Grande), no município de Franca-SP, em uma área cedida pela Escola Técnica Estadual Professor Carmelino Correa Junior (Colégio Agrícola), pesquisa para avaliar a produtividade da cultura de *Eucalyptus urograndis*, no período de 28 a 56 meses após o plantio dos eucaliptos, por meio do monitoramento do DAP (diâmetro à altura do peito) da planta quando realizada irrigação com efluente proveniente de lagoa facultativa considerando ainda, o risco de promover a contaminação do lençol freático. A área dividida em 8 tratamentos foi irrigada da seguinte maneira: T1 Água – necessidade hídrica do eucalipto e sem adubação química, T2 Água – necessidade hídrica do eucalipto e adubação química, T3 Efluente – 1/3 da necessidade hídrica do eucalipto e adubação química, T4 Efluente – 1/2 da necessidade hídrica do eucalipto e adubação química, T5 Efluente – necessidade hídrica do eucalipto e adubação química, T6 Efluente – necessidade hídrica do eucalipto e sem adubação, T7 Efluente – 1,5 necessidade hídrica do eucalipto e

adubação química e T8 Sem irrigação e sem adubação química. A adubação química foi realizada antes do plantio, 6 meses e 1 ano após o plantio. Foram monitorados os líquidos percolados e extraídos de coletores de drenagem livre instalados no solo nas profundidades de 0,30m, 0,60m e 0,90m. Os resultados de DBO e DQO demonstraram que o sistema solo-planta apresentou-se extremamente eficiente na remoção da matéria orgânica presente no efluente aplicado, sendo 95% para DBO e 93% para DQO. A irrigação com efluente na proporção de 1/3 da necessidade hídrica da planta, tratamento T3, apresentou um bom desenvolvimento da planta, do ponto vista do DAP, suprimindo suas necessidades nutricionais e seu percolado apresentou baixo percentual de Nitratos em concentrações superiores a $10\text{mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, minimizando o risco de contaminação da água subterrânea. Os resultados de DBO e DQO demonstraram que o sistema solo-planta apresentou-se extremamente eficiente na remoção da matéria orgânica presente no efluente aplicado, sendo 95% para DBO e 93% para DQO. O presente estudo concluiu, então que a irrigação com dosagens adequadas de efluentes, sendo que nas condições da pesquisa, com subdosagens, pode substituir a adubação do ponto de vista do DAP com baixo risco de contaminação do lençol freático.

PALAVRAS-CHAVE: efluente, irrigação, eucalipto, produtividade agrícola.

Abstract

SALOMÃO, Luís Antônio. **Eucalyptus irrigation with pond sanitary sewage: evaluation of agricultural productivity.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 116p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012.

The treatment of domestic sewage is a necessity for maintaining the quality of water bodies, the natural systems biota and for the conservation of natural resources. In this sense, stabilization ponds are widely used in Brazil as a system of wastewater treatment. The stabilization pond post-treatment adopting the reuse of wastewater for irrigation of crops is recommended practice to complement the treatment of effluent and/or provide nutrients necessary for the development of agricultural crops, but the environmental impacts must be evaluated. The research was performed in UGRHI 08 (Watershed Management Unit Water Resources Sapucaí / Grande) in the city of Franca, São Paulo, in an area ceded by the State Technical School “Professora Carmelina Correa Junior” (Agricultural College), school unit connected to the Paula Souza Center. The study was designed to assess whether there will be increased productivity of *Eucalyptus urograndis* culture, in the period from 28 to 56 months after planting the eucalyptus, by monitoring the DAP (Diameter at Breast Height) plant when performed irrigation with effluent from a facultative pond and considering the risk of promoting groundwater contamination. The area was divided into 8 irrigated treatments as follows: T1 Water - water requirement of eucalyptus and without fertilization, T2 Water - water requirement of eucalyptus and chemical fertilization, T3 Effluent - 1/3 of the water requirements of eucalyptus and chemical fertilization, T4 Effluent - half of the water requirements eucalyptus and chemical fertilization, T5 Effluent - water requirement of eucalyptus and chemical fertilization, T6 Effluent - water requirement of eucalyptus without fertilization, T7 Effluent - 1.5 water requirement of eucalyptus and chemical fertilization and T8 without irrigation and fertilization. The chemical fertilization was

carried out before planting, 6 months and 1 year after planting. Percolate liquids extracted from free drainage collectors installed on the ground depths of 0,30m, 0,60m and 0,90m were monitored. The results of BOD and COD have demonstrated that soil-plant system showed to be extremely efficient in removing organic matter present in the effluent applied, being 95% for BOD and 93% for COD. Irrigation with wastewater in the proportion of 1/3 of the water requirements of the plant, T3, showed a good development of the plant, in terms of DAP, supplying its nutritional needs and its percolate liquid had low percentage of nitrates in concentrations higher than $10\text{mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, minimizing the risk of groundwater contamination. This study concluded that irrigation with adequate doses of effluent, and in terms of the present research, with sub dosages, can replace fertilization in terms of DAP at low risk of groundwater contamination.

KEY WORDS: effluent, irrigation, eucalyptus, agricultural productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
Figura 3.1 - Distribuição de água no planeta Terra	21
Figura 3.2 - <i>Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos</i> –UGRHs.....	23
Figura 3.3 - Diagrama para classificação de água de irrigação	33
Figura 3.4 - Esquema simplificado de uma lagoa facultativa.....	42
Figura 3.5 - Fluxograma típico de um sistema de lagoa facultativa	43
Figura 4.1 - Imagem aérea com a localização da área experimental	52
Figura 4.2 - Limpeza da área experimental (retirada do milho)	53
Figura 4.3 - Aplicação de herbicida na área do experimento.....	53
Figura 4.4 - Representação das linhas equipotenciais e sentido de fluxo da água subterrânea	54
Figura 4.5 - Delineamento experimental implantado	55
Figura 4.6 - Abertura dos sulcos para adubação na área de plantio de eucalipto	56
Figura 4.7 - Mudas de eucalipto utilizadas na pesquisa	57
Figura 4.8 - Plantio de eucalipto na área experimental	58
Figura 4.9 – Representação esquemática de uma parcela	58
Figura 4.10 - Poço de monitoramento de água subterrânea instalado no experimento	59
Figura 4.11 – Aspersion utilizado na pesquisa	60
Figura 4.12 - Croqui do sistema de irrigação implantado na área experimental	61
Figura 4.13 - Reservatórios de água e efluente implantados na pesquisa	62
Figura 4.14 - Esquema dos coletores de drenagem.....	63
Figura 4.15 - Instalação de um coletor no experimento. Colégio Agrícola, Franca/SP	64
Figura 4.16 - Tensiômetro instalado na área experimental	68
Figura 4.17 - Vista da ETE City Petrópolis, Franca-SP e eucaliptos ao fundo.....	69
Figura 4.18 - Represa utilizada como fonte de água para irrigação	69
Figura 4.19 - Medição do DAP do caule do eucalipto.....	70
Figura 4.20 - Coleta do líquido percolado	71

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 3.1 - Produtividade de culturas irrigadas com esgotos sanitários (t ha ⁻¹)	30
Tabela 3.3 - Concentrações máximas permitidas nos efluentes líquidos provenientes de estações de tratamento de esgoto doméstico, para aplicação em culturas.	39
Tabela 3.4 - Valores microbiológicos para uso de esgoto doméstico tratado na aplicação em culturas.	40
Tabela 3.5 - Eficiência das lagoas facultativas primárias	43
Tabela 3.6 - Quantidade de água necessária durante um ano	46
Tabela 3.7 - Comparação entre o consumo de água e a produção de biomassa do eucalipto e outras culturas	46
Tabela 3.8 - Crescimento médio das árvores de eucaliptos, plantados em 1998, com e sem resíduos de colheita e/ou adição de resíduo celulósico, em solo de textura média, em Mogi Guaçu - SP.	48
Tabela 4.1 - Resultados das perfurações de sondagem	54
Tabela 4.2 - Formas de irrigação e adubação dos tratamentos implantados	55
Tabela 4.3 - Resumo da pluviometria e das lâminas de irrigação	66
Tabela 5.1 - Resultados das análises de fertilidade do solo e metais em amostras na área experimental no início do projeto.....	74
Tabela 5.2 - Resultados médios das análises de fertilidade do solo e metais nos tratamentos na área experimental em Agosto/2010 na profundidade de 0 a 0,2m.....	75
Tabela 5.3 - Resultados médios das análises de fertilidade do solo e metais nos tratamentos na área experimental em Agosto/2010 na profundidade de 0,2 a 0,4m.....	76
Tabela 5.4 – Resultados da determinação da capacidade de retenção de água no solo	77
Tabela 5.5 - Caracterização da água da represa realizadas entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período	78
Tabela 5.6 - Caracterização do afluente da ETE City Petrópolis realizadas entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período.....	79
Tabela 5.10 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (mgO ₂ L ⁻¹) das amostras coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento	88
Tabela 5.11 - Demanda química de oxigênio (mgO ₂ L ⁻¹) das amostras coletadas nos drenos em seis coletas de monitoramento.....	90
Tabela 5.13 - Densidade de <i>E. Coli</i> (NMP/100mL) das amostras coletadas nos drenos em seis coletas de monitoramento	93

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Ψ	Potencial matricial da água do solo
Ψ_c	Potencial matricial crítico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Água Disponível
Al	Alumínio
APP	Área de Preservação Permanente
B	Boro
C. NTK	Concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl
Ca	Cálcio
CC	Capacidade de Campo
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cl	Cloro
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
Cr	Cromo
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
DAP	Diâmetro à altura do peito
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
$dS\ m^{-1}$	deciSiemens por metro
$\mu S\ cm^{-1}$	microSiemens por centímetro
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Dr	Densidade de partícula
Ds	Densidade do solo
Efluente primário	Efluente de tratamento primário, após processo de sedimentação
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environment Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos

Fe	Ferro
FAO	Food and Agriculture Organization
FEAGRI	Faculdade de Engenharia Agrícola
FEC	Faculdade de Engenharia Civil
G.L.	Grau de liberdade
GPS	Global Positioning System
H	Hidrogênio
Ha	Hectare
Hg	Mercúrio
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, e Qualidade Industrial
ISO 9001-2000	International Standard Organization, versão 9001, do ano de 2000
K	Potássio
Kc	Coeficiente de demanda hídrica da cultura
Kp	Coeficiente do tanque
KCl	Cloreto de potássio
L	Litros
LQ	Limite de Quantificação
Mg	Magnésio
mE/l	miliequivalente por litro
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
Mo	Molibidênio
Ms	Massa do solo seco a 105 a 110 °C (g)
Na ⁺	íon sódio
Ca ²⁺	íon cálcio
Mg ²⁺	Íon magnesio
NBR	Normas Brasileiras
NC	Necessidade de calcário
NH ₄ ⁺	Íon amônio
NH ₄ NO ₃	Nitrato de amônio
NH ₄ SO ₄	Sulfato de amônia

Ni	Níquel
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Ortofosfato
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
PM	Ponto de Murcha Permanente
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PVC	Poli cloreto de vinila
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
S	Enxofre
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
UA	Umidade Atual
UC	Umidade Crítica
UGRHI	Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
UnB	Universidade de Brasília
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas
USDA	United States Department of Agriculture
USGS	United States Geological Survey
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transverse Mercator – sistema de coordenadas
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	Water Health Organization
Zn	Zinco

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo Geral.....	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1 Reúso da Água.....	21
3.2 Regulamentações e Diretrizes para o Reúso da Água.....	25
3.3 Limitações para Uso de Efluentes Sanitários na Agricultura.....	30
3.4 Irrigação.....	34
3.4.1 Quantidade de água necessária.....	36
3.4.2 Água para irrigação.....	38
3.5 Lagoa Facultativa.....	41
3.6 Cultura de Eucalipto.....	44
3.7 Desenvolvimento da Cultura de Eucalipto.....	47
3.8 Poder Calorífico da Biomassa do Eucalipto Utilizada na produção de energia térmica ...	49
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
4.1 Localização do Experimento.....	51
4.2 Instalação da Pesquisa.....	52
4.2.1 Delineamento experimental.....	54
4.2.2 Adubação e plantio.....	56
4.2.3 Instalação dos poços de monitoramento da água subterrânea.....	58
4.2.4 Sistema de irrigação.....	60
4.2.5 Instalação dos coletores de drenagem livre.....	62
4.3 Caracterização e Capacidade de Retenção de Água do Solo.....	64
4.4 Irrigação e Precipitações Pluviométricas.....	65
4.5 Caracterização do Afluente, Efluente e da Água Utilizados na Irrigação.....	68
4.6 Monitoramento do DAP.....	70
4.7 Monitoramento dos Percolados.....	71
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
5.1 Caracterização e Capacidade de Retenção de Água do Solo.....	73
5.2 Caracterização do Afluente, Efluente e da Água Utilizados na Irrigação.....	77
5.3 Avaliação do DAP.....	81
5.4 Análise dos Percolados dos Coletores de Drenagem Livre.....	87
5.4.1 DBO e DQO.....	87
5.4.2 <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>).....	91
5.4.3 Nitrato.....	93
5.4.4 Metais.....	97
5.4.4.1 Sódio Total.....	98
5.4.4.2 Chumbo total.....	101
5.4.5 Condutividade Elétrica.....	103
5.4.7 pH.....	105
6. CONCLUSÕES.....	107
7. RECOMENDAÇÕES.....	109
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes domésticos é uma necessidade para a manutenção da qualidade dos corpos hídricos, da biota natural dos sistemas bem como para a conservação dos recursos naturais. Neste sentido, as lagoas de estabilização, apesar da dificuldade de atendimento a padrões mais restritivos de lançamento, são bastante utilizadas no Brasil como sistema de tratamento de efluentes sanitários, devido às condições ambientais do país e também ao seu baixo custo de implantação, operação e manutenção.

O pós-tratamento de lagoa de estabilização, adotando-se o reúso de efluentes sanitários na irrigação de culturas agrícolas deve atender basicamente às seguintes proposições: a sanitária que tem por finalidade a depuração do esgoto sem que ocorra a contaminação do ambiente e a agrônômica que visa o aproveitamento pela planta da água e dos nutrientes presentes no efluente.

O processo de tratamento de efluentes no solo inicia-se no momento do lançamento do efluente no solo e prossegue durante a percolação do esgoto ao longo do perfil do mesmo. Assim, o solo e a população microbiana removem e transformam a carga poluidora, enquanto a vegetação retira do solo os nutrientes provenientes dos esgotos, evitando concentrações excessivas e inconvenientes desses elementos. Dessa forma, a disposição de efluentes no solo além de ser uma alternativa viável tecnicamente, atuando na remoção da carga poluidora, também se torna interessante economicamente, pois possibilita a redução do uso de fertilizantes.

É necessário, porém, escolher plantas adequadas para a irrigação com efluente, assim como dimensionar o projeto de irrigação, de modo a manter condições sanitárias suficientes para reduzir o risco de contaminação do ambiente.

A cultura de eucalipto apresenta boas condições para irrigação com esgotos sanitários, pois a produtividade do eucalipto aumenta em locais com maiores índices

pluviométricos e menores déficits hídricos. Ela está em expansão no Brasil, principalmente na região Sudeste e tem como vantagem a utilização de pouca mão-de-obra, aspecto importante tanto para a diminuição dos riscos à saúde do trabalhador, quanto econômico.

A cultura do eucalipto foi escolhida, nesta pesquisa, por não ser comestível, ter crescimento rápido e representar uma alternativa para o fornecimento de madeira, evitando o desmatamento de áreas naturais. Além destas considerações, a cultura ocupa grandes áreas de plantio no estado de São Paulo, cerca de 1.044.813ha de um total nacional de 4.754.334ha segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2011), o que corresponde a aproximadamente 22% do total nacional.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do estudo foi avaliar o uso de efluente de lagoa facultativa em cultura de eucalipto. Para isso, foram monitorados o DAP (diâmetro à altura do peito) da planta e a qualidade da água percolada no solo, considerando o risco de promover a contaminação do lençol freático.

A pesquisa tem como objetivos específicos:

1. Avaliação do desenvolvimento do eucalipto, por meio do monitoramento do DAP (diâmetro à altura do peito) no período de Agosto de 2009 a Novembro de 2011, ou seja, 28 a 56 meses após o plantio do eucalipto;
2. Avaliação da qualidade da água percolada no solo até 0,90m de profundidade no período de 28 a 57 meses após o plantio do eucalipto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Reúso da Água

De acordo com a UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY-USGS (2011), 97% da água do planeta é salgada, presente em oceanos e mares, e apenas 3% correspondem à água doce, que se encontra nos rios, lagos, gelo das calotas polares, aquíferos subterrâneos, dentre outros locais, como a atmosfera. Na Figura 3.1 pode ser observado como é distribuída a água no planeta Terra.

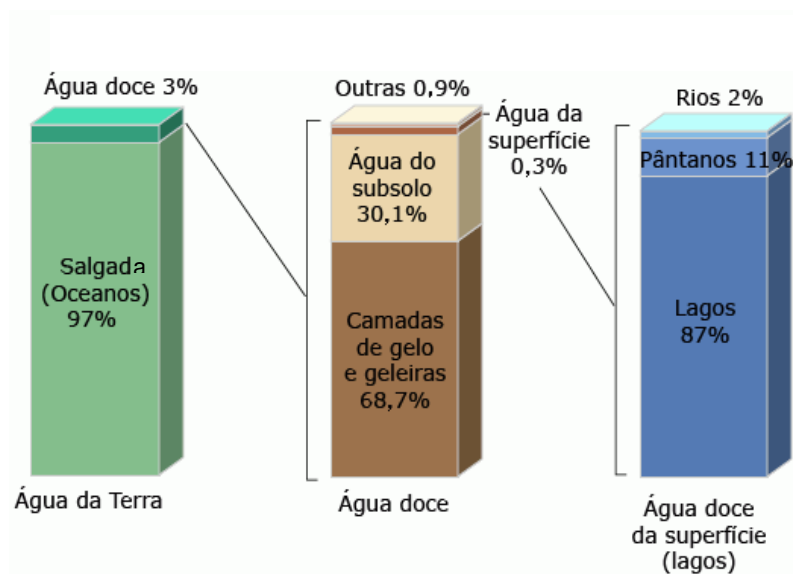


Figura 3.1 - Distribuição de água no planeta Terra

Fonte: U.S. GEOLOGICAL SURVEY-USGS (2011)

De acordo com a ANA (2011) o Brasil possui aproximadamente 12% da água doce superficial do mundo, porém, em torno de 80 % desse total encontra-se na região Amazônica, local que possui baixa densidade populacional. Por outro lado, a região mais populosa, o Sudeste, tem apenas de 6% dessa disponibilidade.

Existem regiões no estado de São Paulo com graves problemas de escassez e de poluição das águas, resultando em conflitos entre os diversos tipos de usuários (agrícolas, urbanos, de navegação, de geração de energia, industriais e de abastecimento público) (FIESP, 2011).

O Estado de São Paulo está dividido em vinte e duas *Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos* –UGRHs. O Relatório *Situação dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo 2011 – Ano Base 2009* conclui que a análise da disponibilidade hídrica *per capita* do Estado indica situação de Atenção, ou seja, situação em que há risco de escassez de água. Destaca que as regiões da Bacia do Rio Tietê, unidades hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiaí e do Alto Tietê, que têm o maior contingente populacional, apresentam situação Crítica quanto à disponibilidade hídrica *per capita*, e que as unidades hidrográficas Sorocaba/Médio Tietê e Tietê/Jacaré estão em situação de Atenção. A unidade hidrográfica Piracicaba/Capivari/Jundiaí tem sua “disponibilidade hídrica” seriamente afetada devido à transposição de parte da água de suas cabeceiras para a unidade Alto Tietê para abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (SSRH-CRHi, 2011), A Figura 3.2 apresenta as *Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos* –UGRHs.

Apesar da Bacia Hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande não ser considerada Crítica do ponto de vista de quantidade e qualidade de água, a região de Franca (SP) apresenta conflitos pelo uso da água, devido a estar localizada no planalto e não possuir rios com grandes vazões no seu entorno.

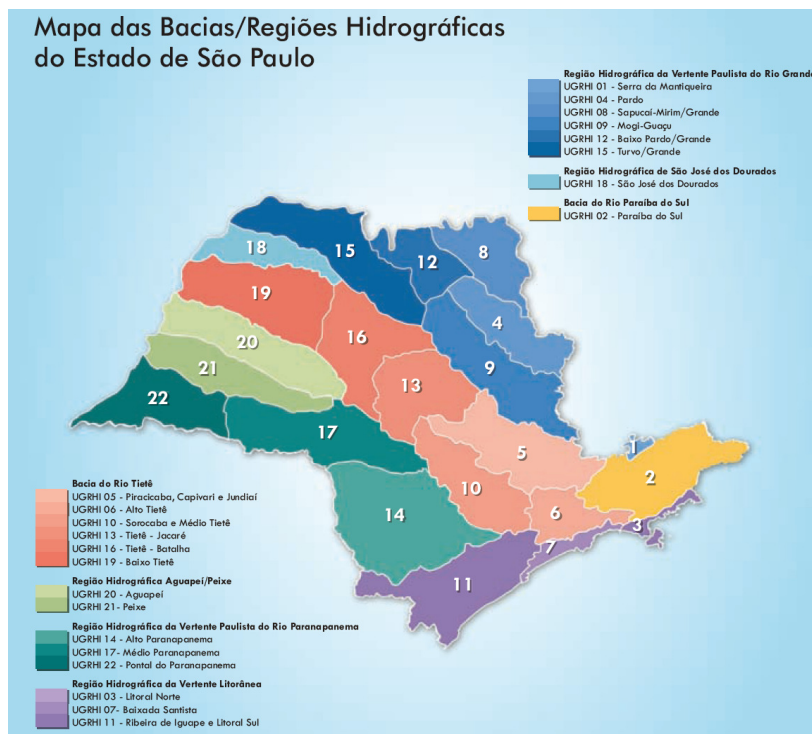


Figura 3.2 - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos –UGRHs
 Fonte: SSRH-CRHi (2011)

Neste contexto o reúso da água pode contribuir para atenuar os problemas de escassez. A água reciclada oriunda de tratamento de esgotos domésticos (por lagoas de estabilização, processos anaeróbios ou lodos ativados) pode ser utilizada para fins não potáveis, como agricultura, jardinagem, parques públicos, irrigação de campos de golfe etc. O uso de efluente tratado na agricultura está em crescimento devido à escassez de água para irrigação.

Dispor esgoto doméstico no solo é um método antigo, sendo Atenas uma das primeiras cidades a adotar este sistema. A Alemanha aplicou o método em um sistema de irrigação por mais de 300 anos, tornando-se prática usual em fazendas da Inglaterra no final do século passado. O reúso e recuperação de efluentes tiveram sua prática intensificada nos Estados Unidos a partir da década de 60 (ASANO & LEVINE, 1996).

Existem experiências de reúso na África do Sul, Alemanha, Argentina, Arábia Saudita, Austrália, Chile, China, Estados Unidos, França, Índia, Inglaterra, Israel,

Kuwait, México, Peru, Polônia, Sudão e Tunízia (Silva, 2003). Entretanto, alguns cuidados são necessários para evitar a contaminação da água subterrânea, do solo (incluindo impermeabilização) e a contaminação dos trabalhadores por agentes biológicos, conforme previsto pela OMS, uma vez que no Brasil não há legislação para regulação desta atividade.

Segundo a CETESB (2010) a reutilização de água pode ser direta ou indireta, decorrente de ações planejadas ou não:

- **Reúso indireto não planejado da água:** ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição e autodepuração).
- **Reúso indireto planejado da água:** ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizados a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. O reúso indireto planejado da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reúso objetivado.
- **Reúso direto planejado das águas:** ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou à irrigação.

O reúso de águas residuárias tem um papel importante como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas, industriais, etc.

Destaca-se entre os usos possíveis da água reciclada de acordo com CETESB (2010):

- Irrigação paisagística: parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de auto-estradas, campus universitários, cinturões verdes e gramados residenciais;
- Irrigação de campos para cultivos: plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais e proteção contra geadas;
- Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras e água de processamento;
- Recarga de aquíferos: recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha e controle de recalques de subsolo;
- Usos urbanos não-potáveis: irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus, etc;
- Finalidades ambientais: aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas e indústrias de pesca;
- Usos diversos: aquicultura, construções, controle de poeira e dessedentação de animais.

3.2 Regulamentações e Diretrizes para o Reúso da Água

As regulamentações (têm força de lei) e as diretrizes (voluntárias, com exceção das inclusas em regulamentações, que são obrigatórias) sobre reúso surgem com a necessidade de adequar as práticas que já ocorrem ou que poderão ocorrer futuramente.

Segundo Crook (1998), os critérios estabelecidos para a prática do reúso são baseados principalmente na proteção à saúde pública e ao meio ambiente. Apresentam, normalmente, os tratamentos mínimos necessários, os padrões de qualidade exigidos para determinados usos, a eficiência exigida para o tratamento, a concepção dos sistemas de distribuição e o controle de uso de áreas.

Nos Estados Unidos, não há regulamentação federal sobre reúso, ficando sobre a responsabilidade dos Estados. A Califórnia, em 1918, foi pioneira na adoção de padrões para reúso em irrigação agrícola. Desde então, revê seus padrões, acrescenta outros tipos de reúso possíveis e os tratamentos necessários (CROOK, 1998), sendo que em 2000 foi revisado o *Water Recycling Criteria* com a apresentação dos usos e possibilidades de aplicação, em função do tratamento previsto para os efluentes (METCALF & EDDY, 2004).

Outros estados americanos criaram suas próprias regulamentações a partir do reconhecimento do reúso como parte integrante dos recursos hídricos. Em novembro de 2002, 25 Estados adotaram normas relativas ao reúso da água, 16 Estados passaram a utilizar orientações ou padrões de projeto e 9 estados não tinham regulamentos ou orientações. Nestes últimos, os programas podem ser permitidos desde que baseados em estudos caso a caso de acordo com as diretrizes da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, documento publicado em 1992 e revisado em 2004 (USEPA, 2004).

A África do Sul utiliza-se da prática do reúso como recurso adicional para suprir as necessidades da sua população, sendo que quando há restrição do fornecimento de água, as políticas de controle de poluição são mais rigorosas e o princípio do poluidor-pagador vem sendo mais bem aplicado sobre fábricas, podendo incentivar, desta maneira, a implementação do reúso, apesar de seu custo ser, em algumas situações, elevados (ODENDAAL, WESTHUIZEN E GROBLER, 1998).

O documento africano Ato das Águas, de 1956, prevê, o reúso das águas, de acordo com suas diversas modalidades: reúso indireto planejado, reúso direto e reciclagem interna na indústria (RODRIGUES, 2005). Considerando as condições geográficas, onde as maiores cidades estão localizadas longe do mar, a legislação de reúso de água prevê o reúso indireto de efluentes que devem retornar ao curso d'água de origem. O controle deve ser exercido no tratamento e na descarga dos efluentes. Significa que deve haver uma grande integração entre os aspectos de tratamento de efluentes e as políticas de proteção da qualidade das águas (RODRIGUES, 2005).

Segundo Bontoux (1998), na Itália a lei n. 319 de 1976 complementada pelos “Critérios, Metodologia e Padrões Técnico Gerais” de 1977, que trata do reúso agrícola, visa a proteção do solo utilizado e das culturas irrigadas com água de reúso, estabelecendo padrões mínimos necessários em função das características das plantações. O monitoramento da qualidade das águas de reúso é rigoroso para que não ocorra contaminação dos recursos hídricos.

Na Tunísia os programas de reúso começaram na década de sessenta, sendo uma das poucas nações do Mediterrâneo que têm uma política federal de reúso implementada (RODRIGUES, 2005).

A legislação proíbe irrigação de qualquer cultura que possa ser consumida crua ou cozida. Logo, os efluentes com tratamento secundário aplicados a uma série de culturas, com exceção das utilizadas como alimentos pelo homem. A qualidade das águas de reúso, segundo a lei na Tunísia, deve ser suficiente para evitar a transmissão de doenças.

A França possui uma localização geográfica privilegiada em relação aos recursos hídricos, sendo considerada auto-suficiente. Entretanto, uma distribuição desproporcional dos recursos hídricos e demanda de água cada vez mais global, causaram um déficit sazonal em algumas partes do país. As indústrias, forçadas principalmente pelos aumentos dos custos decorrentes de sua poluição, empregados pelas Agências de Água, têm promovido a reciclagem da água que utilizam e conseqüentemente reduzindo seu consumo de água.

Em 1991 foi publicado “Recomendações Sanitárias para o Uso, após Tratamento, dos Efluentes Municipais para a Irrigação de Plantações e de Áreas Verdes que atua na proteção das águas subterrâneas e superficiais, na restrição do uso em função da qualidade do efluente tratado, na construção de redes de distribuição específicas para os efluentes tratados, na qualidade química dos efluentes tratados, no controle dos regulamentos sanitários aplicados a irrigação e no treinamento dos operadores e supervisores. Para os contaminantes biológicos, as recomendações

adotadas seguem as propostas pela Organização Mundial de Saúde (RODRIGUES, 2005).

No Brasil existem referências de legislação e normas sobre a utilização de efluentes para reúso na agricultura.

A RESOLUÇÃO CNRH nº 54, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 28 de novembro de 2005, a qual estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água.

Esta resolução adota as seguintes definições:

- I – água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- II – reúso de água: utilização de água residuária;
- III – água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- IV – reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- V – produtor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reúso;
- VI – distribuidor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reúso; e
- VII – usuário de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reúso.

O reúso direto não potável de água, segundo esta Resolução, abrange as seguintes modalidades:

- I – reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

- II – reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- III – reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- IV – reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e,
- V – reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

A RESOLUÇÃO CNRH nº 54 também estabelece que as diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reúso sejam estabelecidos pelos órgãos competentes.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) por meio da NBR-13.969/97 referente a “Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação” define que o esgoto tratado poderá ser utilizado para todos os usos que o usuário precisar, tais como lavagens de pisos, calçadas, irrigação de jardins e pomares, manutenção da água nos canais e lagos dos jardins, nas descargas dos banheiros, etc. Não deve ser permitido o uso, mesmo desinfetado, para irrigação das hortaliças e frutas de ramos rastejantes (por exemplo, melão e melancia). Admite-se seu reúso para plantações de milho, arroz, trigo, café e outras árvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação pelo menos 10 dias antes da colheita.

A CETESB, responsável, no Estado de São Paulo, pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, publicou a Instrução técnica nº 31 em 2006, no intuito de criar procedimentos internos para disciplinar a prática de reúso de efluente proveniente de estação de tratamento de esgoto sanitário. A resolução estabelece algumas condições em relação à área a ser utilizada para o reúso:

- Não deve estar em áreas de preservação permanente – APP ou de reserva legal;

- Não deve estar em zona de proteção de poços, não estar em áreas de proteção máxima de aquífero e áreas de proteção aos mananciais;
- Deve estar afastada 50 metros de vias de domínio público, em irrigação de culturas, afastamento de, no mínimo, 500 metros de núcleos populacionais, afastamento de 200 metros de cursos d'água e coleções hídricas;
- A profundidade mínima do nível do aquífero freático na área irrigada é de 3 metros;
- A declividade máxima de até 15% para a área destinada à irrigação.

3.3 Limitações para Uso de Efluentes Sanitários na Agricultura

A irrigação de culturas com efluentes tem causado impactos positivos devido ao bom desenvolvimento da planta, propiciado pelos nutrientes e pela matéria orgânica presentes nos esgotos. Dessa forma, além da vantagem econômica, proporcionada pela economia de fertilizantes, ainda há redução do impacto ambiental ocasionada pelo tratamento dos efluentes no sistema solo-planta, evitando que os esgotos sejam lançados nos cursos d'água (VERONEZ, 2009).

Na Tabela 3.1 são apresentados os valores de produtividade de diferentes culturas, irrigadas com efluentes e água mais adubação.

Tabela 3.1 - Produtividade de culturas irrigadas com esgotos sanitários (t ha⁻¹)

Irrigação com	Trigo ^a	Batata ^a	Algodão ^a	Sorgo ^b	Milho ^b	Girassol ^b
Efluente primário	3,45	20,78	2,3	8,7	8,9	2,2
Efluente lagoa estabilização	3,45	22,31	2,41	8,6	8,6	2,3
Água + NPK ^c	2,7	17,16	1,71	9,1	8,1	1,9

Fonte: ^a Feigin et. al. (1991) e ^b Marecos do Monte e Mara (1987), Citados por BELINGIERI (2005), ^c Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

Entretanto, o uso de efluente sanitário na agricultura deve ser feito com cautela, responsabilidade e conhecimento das técnicas de irrigação e do efluente a ser aplicado, pois podem causar problemas como: elevação da salinidade do solo, lixiviação de nitrato, incremento de elementos tóxicos em solos e plantas, e riscos a saúde humana devido a microrganismos patogênicos presentes no mesmo.

O Nitrogênio, nutriente vital para o crescimento das plantas, quando sua aplicação excede a demanda do vegetal e a capacidade de desnitrificação do solo, ele pode lixiviar para os lençóis freáticos em forma de Nitrato. O excesso de Nitrato no organismo humano pode causar a metahemoglobinemia, impedindo o transporte de oxigênio aos tecidos e podendo causar a morte, principalmente em crianças.

A Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde do Brasil, que estabelece os padrões de potabilidade da água para consumo humano, estabelece o valor máximo de nitrato de $10 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, mas de acordo com Souza (2004), diferentes organizações ao redor do mundo, adotam limites máximos de nitrato de 50 a $100 \text{ mgNO}_3\text{-L}^{-1}$ (11 a $22 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$). A Portaria nº 2914/11, que substituiu a Portaria 518/04, manteve o limite de $10 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$.

Por sua vez, a salinidade das águas reutilizadas pode apresentar índices mais elevados do que as fontes de água tradicionais, e isso pode acarretar em mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo (HAMILTON *et al.*, 2005). Como consequência do aumento da concentração total de sais solúveis de um solo é a elevação do seu potencial osmótico, prejudicando as plantas em razão do decréscimo da disponibilidade de água daquele solo.

Os efeitos dos sais sobre o solo ocorrem basicamente pela interação eletroquímica existente entre os sais e a argila. A intensidade deste fenômeno depende da natureza da argila e do cátion presente. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando umedecida e a concentração de sais quando a água é evaporada ou retirada pelas plantas. Se a expansão for exagerada pode ocorrer a fragmentação das partículas provocando a dispersão da argila. De modo generalizado,

altera-se o volume ocupado pela argila, reduzindo o tamanho dos poros e modificando a estrutura do solo, afetando significativamente suas propriedades físicas (LIMA,1997).

Os efeitos dos sais sobre as plantas podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água pela planta, pela interferência dos sais nos processos fisiológicos, ou mesmo por toxidez similares àquelas de adubações excessivas (LIMA, 1997).

Para evitar a salinização do solo é necessário que sejam tomados os devidos cuidados quanto à aplicação de efluentes com altas concentrações de sódio. Para avaliação da salinidade, utiliza-se a Razão de Adsorção do Sódio (RAS), que pode ser calculada por meio da equação a seguir:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (3.1)$$

Onde:

RAS = Razão de adsorção de sódio

Na^+ = concentração de Sódio, expresso em mmol L⁻¹ (conc. em mg L⁻¹ / 23)

Ca^{2+} = concentração de Cálcio, expresso em mmol L⁻¹ (conc. em mg L⁻¹ / 20,04)

Mg^{2+} = concentração de Magnésio, expresso em mmol L⁻¹ (conc. em mg L⁻¹ / 12,16)

A água para irrigação pode ser classificada, em função da condutividade elétrica e do RAS, pode ser classificada, quanto ao perigo de salinização do solo, de acordo com o diagrama apresentado na figura 3.3.

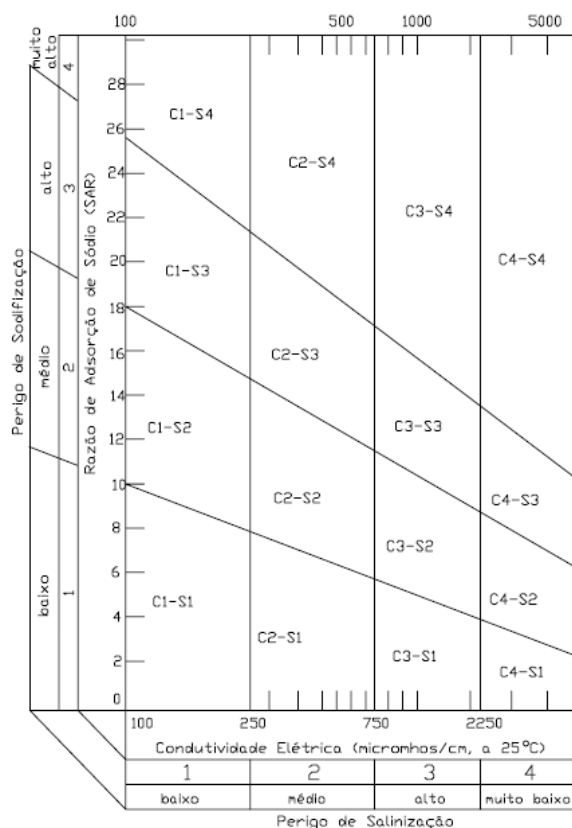


Figura 3.3 - Diagrama para classificação de água de irrigação

Fonte: U.S. Salinity Laboratory Staff - Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos - citado por VERONEZ, 2009)

A água pode ser classificada, quanto ao perigo de salinização, relacionados aos sais presentes no efluente, entre eles o sódio, o cálcio e o magnésio, detectado pela condutividade elétrica como:

C1: Águas com baixa salinidade. Pode ser usada na maioria das lavouras e em quase todos os solos, com pequeno risco de salinização, salvo se a permeabilidade for extremamente baixa;

C2: Águas com salinidade média. Pode ser usada em solos que apresentam lixiviação moderada. As plantas com baixa tolerância salina podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem perigo;

C3: Águas com salinidade alta. Não pode ser usada em solos de drenagem deficiente. Presta-se para culturas com boa tolerância salina;

C4: águas com salinidade extremamente alta. Não devem ser usadas para irrigação, salvo em plantas com alta resistência salina em solos bastante permeáveis, e abundantemente irrigadas.

Quanto ao perigo de sodificação, relacionado ao sal sódio, a classificação da água pode ser:

S1: água com baixa proporção de sódio. Pode ser usada quase em todos os tipos de solo, sem risco de acumulação de quantidades nocivas de sódio permutável. Fazem-se ressalvas apenas às lavouras muito sensíveis ao sódio;

S2: água com proporção média de sódio. Envolve certo risco em condições de lixiviação deficiente, em terrenos de textura argilosa com elevada capacidade catiônica. Pode ser usada em solos orgânicos ou de textura arenosa com boa permeabilidade;

S3: água com proporção elevada de sódio. Pode conduzir a quantidades perigosas de sódio permutável na maior parte dos solos, aceitáveis apenas em condições de boa drenagem e lixiviação intensa;

S4: água com proporção muito elevada de sódio. Geralmente é inadequada para irrigação.

3.4 Irrigação

De acordo com Vieira (1995), irrigar não é simplesmente molhar o solo, mas sim aplicar a quantidade de água necessária, considerando alguns fatores como: o tipo de solo, a declividade do terreno, a capacidade de retenção de água no solo e o tipo de cultura, no intuito de aumentar a produtividade ou realizar a colheita fora dos períodos convencionais. A irrigação possibilita a viabilidade econômica da agricultura em regiões áridas e semi-áridas, enquanto em regiões úmidas e semi-úmidas propicia a correção da distribuição irregular da pluviometria durante o ano, não prejudicando o metabolismo da planta.

Para desenvolver uma irrigação eficiente Gheyi et al (1999) aconselha a adoção das seguintes medidas básicas:

- aplicação da quantidade de água necessária;
- irrigação com água de qualidade aceitável;
- estabelecimento de uma frequência adequada de irrigação e emprego dos métodos convenientes;
- prevenção da salinização na zona radicular por meio de lixiviação;
- controle do acúmulo de água sobre a superfície do solo, mediante uma drenagem apropriada;
- manejo adequado dos nutrientes para os cultivos.

Segundo Paganini (1997), a irrigação de culturas com efluentes pode ser definida como a descarga controlada sobre o solo com a finalidade de suportar o crescimento da planta. No processo, o efluente é submetido aos seguintes procedimentos:

- infiltração até atingir o lençol subterrâneo;
- incorporação pela vegetação;
- lançamento à atmosfera pela evapotranspiração;
- incorporação ao solo por reações químicas, ou na forma de umidade, podendo ser transitória ou permanente.

Entretanto, a irrigação com efluentes não deve: causar a saturação do solo e comprometer a qualidade do lençol freático.

Segundo a USEPA (1976), existem basicamente dois tipos de sistemas de irrigação com efluentes:

- um sistema tem como finalidade maximizar a produção da cultura agrícola, deixando o tratamento do efluente em segundo plano. Esse sistema opera com baixas taxas de irrigação, sendo necessárias grandes áreas para aplicação dos efluentes, reduzindo, dessa forma, os impactos negativos ao sistema solo-planta, devido à maior diluição dos poluentes;

- outro sistema objetiva o tratamento do efluente e é denominado irrigação de alta taxa, o qual deve ser realizado com reservas em cultura secundária, tais como eucaliptos que tem elevada taxa de evapotranspiração.

3.4.1 Quantidade de água necessária

Conforme WHO (2006), a maior parte da água aplicada na planta, oriunda de chuva e irrigação é consumida pelo processo de evapotranspiração. Logo, conclui-se que a água necessária para a vegetação é equivalente à quantidade de água perdida nesse processo. A taxa de evapotranspiração depende do tipo de vegetação e de fatores climáticos, que podem ser estimados segundo os dados meteorológicos da região.

Segundo Vieira (1995), a irrigação deve ser realizada antes que a umidade do solo alcance teor abaixo do valor mínimo condizente com a produtividade agrícola. Este valor limite corresponde ao potencial matricial crítico do solo (ψ_c), ou seja, valor acima do qual a planta começa a perder em produtividade devido ao esforço que deve realizar para absorver a água do solo contra os esforços de absorção e capilaridade. A este potencial matricial, corresponde uma umidade denominada umidade crítica (UC), situada entre os valores de umidade correspondente à capacidade máxima de retenção de água no solo, chamada de capacidade de campo (CC), acima da qual o líquido lixívia para o aquífero, e à umidade remanescente quando ocorre e se mantém a murcha da planta, designado ponto de murchamento (PM).

De acordo com Souza (2004), o metabolismo adequado da planta é atingido quando se consegue controlar a umidade do solo para valores entre a UC e CC, sendo que quando a umidade do solo atinge valores próximos a UC, aplica-se uma quantidade de água correspondente à lâmina hídrica líquida (H_l). Calcula-se H_l em função de atributos característicos do solo e da cultura irrigada, visando a restauração da umidade do solo para valores próximos à CC.

Carraro (1995) avaliou a capacidade de retenção de água no solo em pesquisa sobre tratamento de efluente bruto cítrico líquido no solo por meio de sulcos largos de infiltração em plantação de eucalipto realizada em área cedida pela empresa Citrosuco Paulista S/ A, unidade de Limeira-SP. Os resultados estão na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Caracterização do Solo com Capacidade de Retenção de Água

Profundidade do Perfil	50cm
Densidade Global	1,40g/cm ³
Capacidade de Campo	18%
Ponto de Murchamento	9,8%
Umidade Cítrica	13,5%
Altura de Água Disponível	57,0mm
Lâmina Hídrica	31,5mm
Eficiência da Irrigação	50,0%
Lamina Bruta de Irrigação	63,0mm
Densidade Real do Solo	2,63g/cm ³
Porosidade	46,8%

Fonte: Adaptada CARRARO (1995).

Segundo Fancelli et al. (2000), existem, no mínimo, três métodos para monitoramento da quantidade de água no solo: o tensiômetro, o tanque Classe A e o método gravimétrico. O tensiômetro, utilizado nesta pesquisa, calcula o armazenamento crítico a partir da umidade crítica, que está associada a um valor potencial matricial crítico, conforme descrito em Materiais e Métodos.

A irrigação deve ser realizada por meio da aplicação de uma lâmina hídrica adequada, maximizando assim o desenvolvimento da cultura e propiciando maior rendimento econômico (VERONEZ, 2009).

3.4.2 Água para irrigação

A água utilizada para irrigação está sujeita a ações das condições climáticas locais, das características físicas e químicas do solo, da tolerância da cultura à salinidade, práticas agronômicas e da técnica de irrigação empregada.

Segundo Gheyi et al. (1999), os atributos químicos necessários para avaliar a qualidade da água são: concentração total de sais dissolvidos, condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio (RAS), íons tóxicos e pH, entre outros.

De acordo com Weber et al. (2006), as regulamentações sobre reúso orientam o ensaio dos seguintes parâmetros: DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), pH, SST (Sólidos Suspensos Totais), alguns produtos químicos específicos, metais potencialmente tóxicos (metais pesados), óleos minerais, alguns pesticidas e atributos relacionados aos microrganismos patogênicos, porém, mais recentemente, vem surgindo uma preocupação a respeito dos fármacos e hormônios.

A CETESB (2006) determina por meio da Instrução Técnica nº 31, que estabelece procedimentos internos da CETESB para disciplinar a prática do reúso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico, as concentrações máximas permitidas nos efluentes líquidos provenientes de estações de tratamento de esgoto doméstico para aplicação em cultura. Estas concentrações estão apresentadas nas tabelas 3.3 e 3.4.

Tabela 3.3 - Concentrações máximas permitidas nos efluentes líquidos provenientes de estações de tratamento de esgoto doméstico, para aplicação em culturas.

Substâncias	Concentração (mg L ⁻¹)
Alumínio	5,0
Arsênio	0,10
Bário	5,00**
Berílio	0,10
Boro	0,5**
Cádmio	0,01
Chumbo	0,5**
Cianeto	0,2**
Cloreto	106,5***
Cobalto	0,05
Cobre	0,2
Cromo	0,10
Fenóis totais	0,5*
Ferro	5,0
Fluoreto	1,0
Manganês	0,20
Mercúrio	0,01**
Molibdênio	0,01
Níquel	0,2
Prata	0,02
Selênio	0,02
Sódio	69,0***
Sulfeto	1,0*
Vanádio	0,10
Zinco	2,0
Clorofórmio	1,0*
Dicloroetano	1,0*
Tetracloroeto de carbono	1,0*
Tricloroetano	1,0*

* Resolução CONAMA 357/2005

** Decreto Estadual 8.468/76

*** Concentrações de boro acima de 0,5 mg L⁻¹, de cloreto acima de 106,5mg L⁻¹ e de sódio acima de 69 mg L⁻¹ são tóxicas para plantas sensíveis, como frutíferas, principalmente por sistemas de aspersão.

Fonte: Adaptada CETESB (2006).

Tabela 3.4 - Valores microbiológicos para uso de esgoto doméstico tratado na aplicação em culturas.

Categoria	Condições de reúso	Grupos expostos	Técnicas de Aplicação	Ovos de helmintos^a (média aritmética do n° de ovos por litro^b)	Coliformes termotolerantes (média geométrica do n° por 100 ml^c)
A	Campos esportivos, parques públicos	Trabalhador, público	Qualquer	≤ 0,1	≤ 200
B	Cereais, cultura a ser industrializada, silvicultura, árvores frutíferas ^d , forrageira para feno e silagem ^e	B1 – trabalhadores (exceto crianças menores de 15 anos), comunidades vizinhas	(a) aspersão	≤ 1,0	≤ 10 ⁵
		B2 – Idem ao B1	(b) inundação/canal	≤ 1,0	≤ 10 ³
		B3 – trabalhadores incluindo crianças menores de 15 anos, comunidades vizinhas	Qualquer	≤ 0,1	≤ 10 ³
C	Aplicação localizada de culturas da categoria B se não ocorrer exposição de trabalhadores e público	Nenhum	Gotejamento, microaspersão	Não aplicável	Não aplicável

a – Ascaris e Trichuris e ancilóstomo; esse valor tem, também a intenção de proteger contra riscos de protozoários

b – Durante o período de aplicação

c – Durante o período de aplicação (a contagem de coliformes termotolerantes deve ser feita, de preferência, semanalmente, no mínimo mensalmente)

d – Para árvores frutíferas, a aplicação deve ser interrompida duas semanas antes da colheita e, a fruta não pode ser colhida do chão. A aplicação em aspersão convencional não deve ser usada.

e – Aplicação em plantas forrageiras não será permitida para pastejo direto. O fornecimento de forrageira no cocho é considerado como pastejo direto.

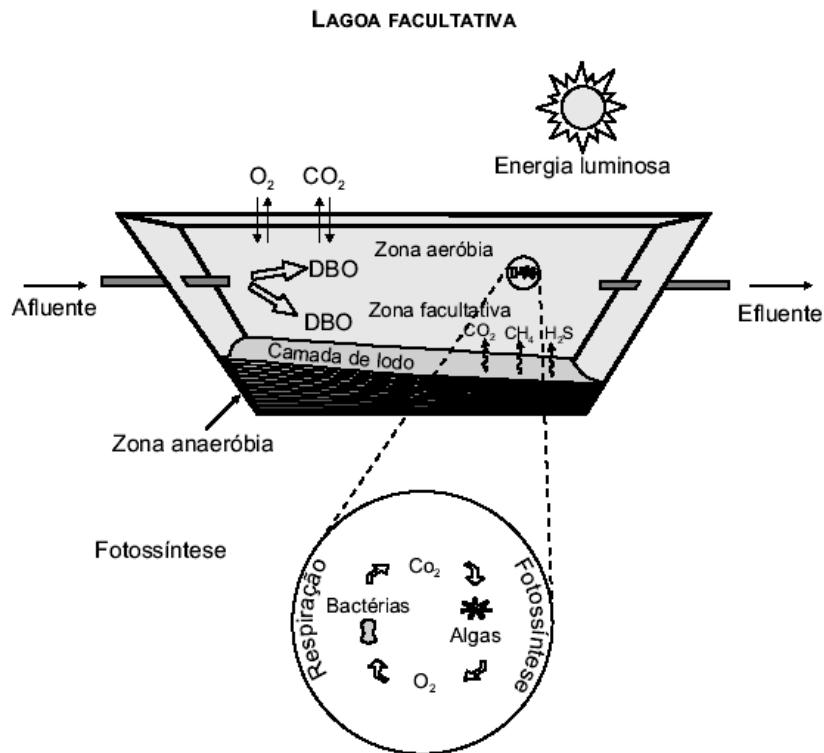
Fonte: Adaptada CETESB (2006).

3.5 Lagoa Facultativa

A lagoa facultativa é um sistema de lagoa de estabilização simples de fácil operação. No processo, parte da matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo, que sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, metano e outros, permanecendo a fração inerte na camada de fundo sem alteração na sua natureza. A decomposição da matéria orgânica dissolvida e da matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões ocorre pela ação de bactérias facultativas, que têm a capacidade de sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio livre. Essas bactérias utilizam-se da matéria orgânica como fonte de energia, alcançada por meio da respiração. Na respiração aeróbia, há a necessidade da presença de oxigênio, que é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas. Há, assim, um perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico (VON SPERLING, 2005).

O nome lagoa facultativa origina-se da presença de bactérias facultativas presentes no processo de decomposição da matéria orgânica.

Na Figura 3.4 é apresentado o esquema simplificado do sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoa facultativa.



Normalmente são aplicadas para o tratamento de esgoto de municípios de pequeno e médio porte por apresentarem baixo custo e simplicidade operacional. A SABESP por meio da Unidade de Negócio Pardo e Grande (Regional de Franca-SP) opera sistemas de saneamento em 33 municípios do Estado de São Paulo sendo a maior parte de pequeno porte. Ao todo são 35 sistemas de tratamento por lagoa de estabilização com lagoas facultativas, como por exemplo, Igarapava, Rifaina, Miguelópolis e Restinga.

Conforme Von Sperling (2002), com algumas adaptações no fluxograma e na geometria das lagoas, podem ser alcançadas elevadíssimas eficiências de remoção de organismos patogênicos ou, de forma mais específica, dos seus principais indicadores (coliformes e ovos de helmintos), podendo inclusive, obter uma significativa remoção de nitrogênio e até mesmo de fósforo.

Segundo Von Sperling (2002), as lagoas facultativas são classificadas em:

- lagoa primária quando recebem o esgoto bruto;
- lagoa secundária quando recebe seu afluente de uma unidade de tratamento precedente, tal como lagoa anaeróbia.

As lagoas facultativas devem ter ainda, um sistema de tratamento preliminar, composto por grades para reter o material grosseiro, caixa de areia para retirada do material inerte e medidor de vazão (Figura 3.5).

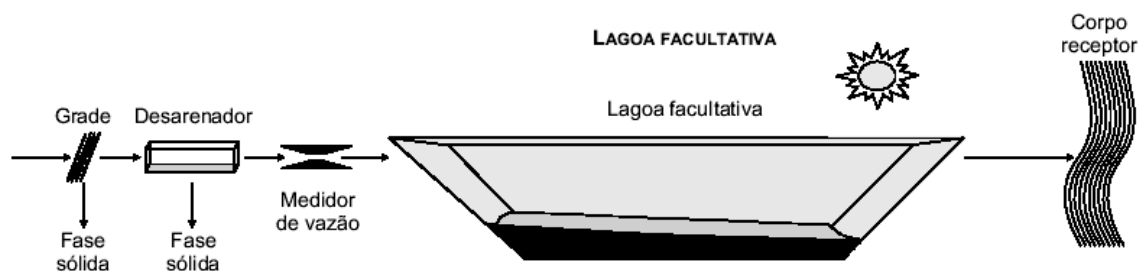


Figura 3.5 - Fluxograma típico de um sistema de lagoa facultativa
 Fonte: VON SPERLING, 2005

De acordo com Von Sperling (2005), as lagoas facultativas apresentam eficiência, conforme a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Eficiência das lagoas facultativas primárias

Parâmetro	Concentração do Efluente	Eficiência média de remoção (%)
DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	50 – 80	75 – 85
DQO (mg L ⁻¹)	120 – 200	65 – 80
SS (mg L ⁻¹)	60 - 90	70 – 80
Amônia –N (mg L ⁻¹)	> 15	< 50
N total (mg L ⁻¹)	> 20	< 60
P total (mg L ⁻¹)	> 4	< 35
CF (mg L ⁻¹)	10 ⁶ - 10 ⁷	1 – 2 (Unid.log)
Ovos Helm. (ovo/L)	< 1	

Fonte: VON SPERLING (2005)

Apesar das lagoas facultativas apresentarem uma eficiência satisfatória, em alguns casos, esse tipo de tratamento pode não atender a padrões de lançamento mais restritivos, sendo necessária a implantação de sistemas de pós-tratamento. Nesse contexto, o reúso, por meio da irrigação de culturas agrícolas, pode ser uma alternativa viável, pois o sistema solo-planta absorve dos esgotos os nutrientes nele presentes, realizando a depuração dos poluentes e fornecendo condições para o desenvolvimento da planta (VERONEZ, 2009).

3.6 Cultura de Eucalipto

Conforme Veronez (2009), diante da necessidade de madeira para os mais diversos fins e das questões ecológicas relacionadas à utilização das florestas nativas, o cultivo do eucalipto tornou-se uma alternativa viável para suprir essa demanda.

As espécies de eucalipto são originárias quase que totalmente da Austrália (Gruber, 2006). No Brasil, há indícios de que a introdução tenha ocorrido em 1825, no Jardim Zoobotânico do Rio de Janeiro (EMBRAPA, 2000).

A madeira de eucalipto presta-se tanto para usos tradicionais (lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel), como também para a fabricação de casas, móveis e estruturas.

No Brasil, em 2010 as áreas de florestas plantadas com eucalipto e pinus acumularam um total estimado de 6.510.693ha, aumentando em cerca de 3,2% as áreas de florestas plantadas em relação a 2009. O eucalipto continuou sendo a espécie mais plantada com 4.754.334ha de áreas plantadas, o que representa um crescimento de 5,3% na área plantada em relação ao ano anterior (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF, 2011).

Na região sudeste, segundo a ABRAF (2011), a área total plantada com eucalipto, em 2010, totalizou 2.648.698ha, ou seja, 55,8% da área total plantada no Brasil. Em São Paulo, esta área é de 1.044.813ha.

Segundo Araújo (2010) apesar do momento crítico em que passa a economia mundial, a percepção do mercado é que a retomada do plantio de eucalipto deverá ser suficiente para afastar o país do risco de “apagão florestal”, desde que se invista satisfatoriamente em aumento de produção e produtividade.

Conforme EMBRAPA (2000), o plantio de eucalipto em escala comercial para produzir madeira de alta qualidade podem empregar as seguintes estratégias:

- A primeira, mais utilizada até hoje, consiste em melhorar geneticamente a qualidade da madeira das espécies mais plantadas, como *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*;
- A segunda alternativa é a identificação de espécies produtoras de madeira de características satisfatórias para o uso a que se pretende, com programas posteriores destinados a aumentar a produtividade.

Segundo Scanavaca Junior (2001), o Brasil apresenta excelentes condições para o desenvolvimento da cultura de eucalipto, em função do clima favorável e das características da cultura tais como: rápido crescimento, abundância em madeira, facilidade em exploração, madeira relativamente homogênea e baixo custo.

O consumo de água pelo eucalipto é acentuado devido ao seu crescimento vertiginoso, o que levanta preocupação sobre o impacto da planta sobre as reservas hídricas do solo. Entretanto, várias pesquisas comprovam que a demanda hídrica do eucalipto é menor que outras espécies vegetais (CALDER et al., 1992). Na Tabela 3.6 é apresentada a quantidade de água consumida anualmente por algumas culturas largamente cultivadas no Brasil.

Uma característica do sistema radicular (raízes) dos eucaliptos utilizados em plantios comerciais é a concentração, nos primeiros 60 cm do solo, das raízes

responsáveis pela absorção de água e nutrientes. A raiz pivotante, que é a responsável pela sustentação da árvore, normalmente não ultrapassa a faixa dos 3 metros de profundidade.

Tabela 3.6 - Quantidade de água necessária durante um ano

Cultura	Consumo de água (mm)
Cana-de-açúcar	200-2000
Café	800-1200
Citrus	600-1200
Milho	400-800
Feijão	300-600
Eucalipto	800-1200

Obs: 1 mm(milímetro) corresponde a 1 litro por metro quadrado

Fonte: CALDER et al. (1992)

De acordo com Novais et al. (1996), o eucalipto utiliza a água de forma mais eficiente que outras culturas, produzindo mais biomassa por quantidade de água consumida. A Tabela 3.7 apresenta comparação entre o consumo de água e a produção de biomassa do eucalipto e outras culturas típicas do Brasil.

Tabela 3.7 - Comparação entre o consumo de água e a produção de biomassa do eucalipto e outras culturas

Cultura	Eficiência no uso da água
Batata	1 kg de batata / 2.000 l
Milho	1 kg de milho / 1.000 l
Cana-de-açúcar	1 kg de açúcar / 500 l
Cerrado	1 kg de madeira / 2.500 l
Eucalipto	1 kg de madeira / 350 l

Fonte: NOVAIS et al. (1996)

3.7 Desenvolvimento da Cultura de Eucalipto

A Engenharia Florestal utiliza, dentre outros, para avaliar a produtividade do eucalipto o DAP (diâmetro à altura do peito). O DAP é medido 1,30m de altura a partir da base do tronco, podendo ser obtido diretamente com compasso florestal ou paquímetro e indiretamente com fita métrica ou fita diamétrica, assumindo-se que a secção transversal do tronco é um círculo para fazer a conversão da medida de circunferência em diâmetro.

Para se prover matéria prima a uma indústria, é necessário planejar e implantar povoamentos florestais que possibilitem um contínuo suprimento da mesma. Para isto, é necessário conhecer a dinâmica de crescimento das florestas plantadas. Portanto, o estudo do crescimento e produção florestal é a ferramenta mais utilizada para a compreensão dessa dinâmica. A análise da medida de produção florestal em relação a variáveis como a idade, o sítio e a densidade é fundamental no processo de se conhecer esta dinâmica (TONINI et al., 2006). Pretende-se com isto, reduzir a idade de corte das florestas de eucalipto. Certamente haverá mudanças na dinâmica de nutrientes minerais do sistema.

A EMBRAPA (2010), por meio de uma pesquisa, avaliou o crescimento médio das árvores de eucaliptos da espécie *grandis* (Tabela 3.8), plantados em 1998, com e sem resíduos de colheita e/ou adição de resíduo celulósico e cinzas, em solo de textura média, em Mogi Guaçu, estado de São Paulo. A avaliação do DAP demonstrou que o uso dos resíduos da indústria aumentou o crescimento das árvores, que se tornou mais evidente no quarto ano após o plantio (2002). A manutenção de parte dos resíduos da colheita (galhos menores que 3 cm) com as maiores doses do resíduo celulósico e da cinza (tratamento 5) não proporcionou maior crescimento das árvores quando comparado com o tratamento sem resíduo da colheita e com adição de resíduo celulósico e cinzas (tratamento 6).

Tabela 3.8 - Crescimento médio das árvores de eucaliptos, plantados em 1998, com e sem resíduos de colheita e/ou adição de resíduo celulósico, em solo de textura média, em Mogi Guaçu - SP.

Tratamento	Idade (ano)						
	1	2	3	4	2	3	4
	Altura (m)				DAP (mm)		
1	4,30	10,70	19,20	22,90	76,00	110,00	121,00
2	5,20	12,60	21,10	24,00	85,00	126,00	131,00
3	4,40	11,70	20,30	24,10	86,00	118,00	130,00
4	4,80	12,00	21,30	25,70	93,00	128,00	140,00
5	4,70	12,50	21,50	24,70	92,00	133,00	140,00
6	4,90	12,80	21,80	26,60	95,00	131,00	144,00

Observações:

Tratamento 1 - Retirada total dos resíduos de colheita de corte raso anterior em eucalipto de 12 anos

Tratamento 2 - Manutenção de todos os resíduos do corte raso anterior

Tratamento 3 - Manutenção de parte dos resíduos do corte raso anterior (galhos abaixo de 3 cm de diâmetro)

Tratamento 4 - Mesmo manejo dos resíduos da colheita do tratamento 3 e adição de 7,5 t ha⁻¹ de resíduo celulósico e 2 t ha⁻¹ de cinzas

Tratamento 5 - Mesmo manejo dos resíduos da colheita do tratamento 3 e adição de 15 t ha⁻¹ de resíduo celulósico e 4 t ha⁻¹ de cinzas

Tratamento 6 - Retirada total dos resíduos da colheita e adição de resíduo celulósico e cinzas na mesma quantidade usada no tratamento 5

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2010).

Segundo Carraro (1995), em pesquisa desenvolvida em Limeira-SP, aplicou-se efluente de indústria cítrica na irrigação de eucalipto da variedade grandis, por meio de sulcos de infiltração. Foram aplicados ao todo 31,5mm de efluente durante um período de 6 dias. Não se observou diferença significativa no desenvolvimento do eucalipto, mas sim, uma situação de homogeneidade no crescimento da planta.

A produção de matéria seca total do eucalipto cresce com o aumento da quantidade de água aplicada. Dessa forma, a irrigação pode proporcionar o aumento na biomassa da planta, além de reduzir o tempo para colheita (Gruber, 2006).

Até a primeira fase de crescimento da cultura conduzida por Veronez (2009), o sistema solo-planta-água apresentou as seguintes situações:

- O desenvolvimento do DAP do eucalipto foi maior nos tratamentos irrigados com efluente quando comparado aos demais;
- A irrigação da cultura de eucalipto com água natural mostrou ser desnecessária;

- A irrigação com subdosagens de efluente (T3 e T4), em relação à necessidade hídrica das plantas, demonstrou bom desenvolvimento e menor risco de contaminação da água subterrânea.

3.8 Poder Calorífico da Biomassa do Eucalipto Utilizada na produção de energia térmica

Historicamente a biomassa florestal é tida como uma importante fonte de energia (MALIK et al., 2001; COUTO et al., 2002). No Brasil, a biomassa participa com 30,1 % da matriz energética, sendo 12,4 % a partir da lenha e do carvão (BRASIL, 2006). Dos 321 milhões de metros cúbicos de madeira consumidos, 69 % são destinados para geração de energia (BRITO, 2007), sendo que a demanda está assim distribuída: carvão para siderúrgicas 39 %; setor residencial 32 %; no setor industrial, nos ramos de cimento, químico, alimentos, bebidas, cerâmicas, papel e celulose 21%; e no setor agrícola 6 % (BRITO e CINTRA, 2004). Segundo Brito (2007), considerando o consumo médio anual de dois metros cúbicos de madeira per capita, estima-se que pelo menos 30 milhões de pessoas dependem da madeira como fonte de energia domiciliar no Brasil, sobretudo pessoas das classes mais pobres da população.

O uso da madeira para produção de energia apresenta menores problemas de poluição quando comparada aos combustíveis fósseis, tendo em vista que esta possui um baixo teor de enxofre. Além disto, o uso da biomassa tem um outro aspecto ambiental favorável já que a emissão de CO₂ da queima da biomassa na atmosfera geralmente é compensada pela absorção no plantio da nova biomassa. Estas vantagens tornam interessante o uso da madeira para fins energéticos, necessitando, no entanto de uma caracterização adequada, destacando-se: o poder calorífico, o teor de umidade, a densidade e a análise imediata (QUIRINO et al, 2005).

O poder calorífico define-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989). No

Sistema Internacional o poder calorífico é expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, mas pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma (BRIANE & DOAT, 1985).

O poder calorífico divide-se em superior e inferior. O poder calorífico superior (PCS) é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE & DOAT, 1985). O PCS considera a água proveniente da combustão na forma líquida.

O poder calorífico inferior (PCI) é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989). O PCI considera a água proveniente da combustão na forma de vapor.

O método de medição do poder calorífico baseia-se, no balanço de energia, na combustão completa da amostra, em geral com oxigênio puro, a volume constante, e na transferência de calor para a água do calorímetro. A diferenciação entre o poder calorífico superior (PCS) e o inferior (PCI) resulta da consideração do estado final da mistura de gases de combustão e do vapor d'água que se forma na queima de substâncias hidrogenadas. Se o estado de equilíbrio térmico dos produtos da combustão com a água do calorímetro ocorre sem a condensação do vapor d'água, o poder calorífico medido é o inferior; se o vapor se condensa e a mistura é resfriada à temperatura inicial (geralmente a do ambiente, tomada como 25°C), maior quantidade de calor é cedida ao calorímetro e o resultado é o poder calorífico superior (ESTEVES, 1995).

A Tabela 3.9 indica o poder calorífico superior de alguns biocombustíveis sólidos.

Santos (2008), em estudo realizado para avaliar o controle de um conjunto gaseificador-combustor de fluxo concorrente utilizou como biomassa lenha de eucalipto com poder calorífico igual a 19.977,67 KJ.Kg⁻¹, valor próximo do citado na tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Poder calorífico superior de biomassa, base seca

Biomassa	Poder calorífico superior (KJ.Kg ⁻¹)
Pinus ¹	20.020
Eucalipto ¹	19.420
Eucalipto ²	18.420
Carvão ²	30.900

Fonte: SANTOS, 2008 adaptado de ¹ JENKINS, 1990, citado por LORA et al. (1997); ² LOPES (2002)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização do Experimento

A pesquisa foi desenvolvida na UGRHI 08 (Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sapucaí/Grande), no município de Franca-SP, em uma área cedida pela Escola Técnica Estadual Professor Carmelino Correa Junior (Colégio Agrícola), unidade escolar ligada ao Centro Paula Souza. Toda área cedida perfaz um montante de aproximadamente 18.000 m². As coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator – sistema de coordenadas) de um dos pontos da área do experimento são 249.764m E, 7.735.225m N e altitude de 975m. O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico, conforme a EMBRAPA (2006). A topografia do local é plana a suavemente ondulada. O levantamento planimétrico foi feito com aparelho de GPS (Global Positioning System). A localização da área do experimento é apresentada na Figura 4.1.

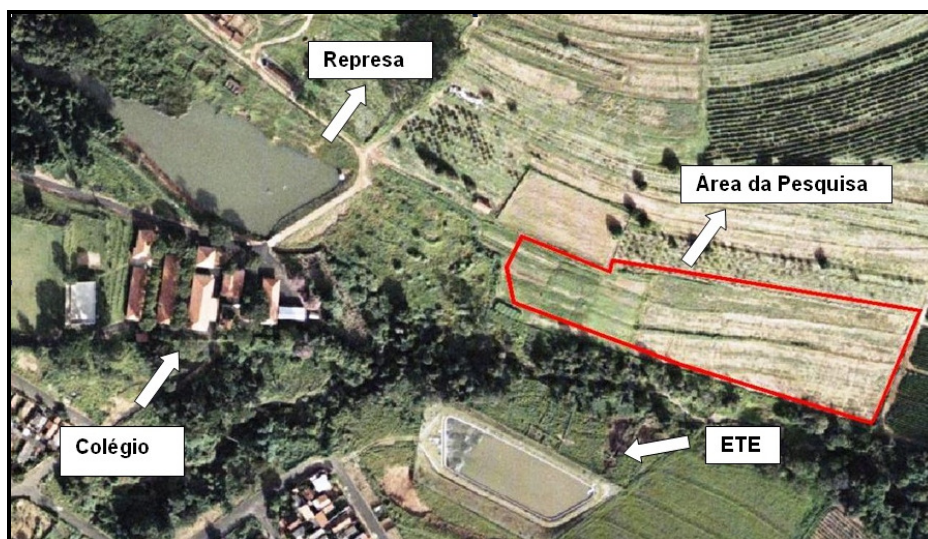


Figura 4.1 - Imagem aérea com a localização da área experimental
Fonte: BASE (2003)

O Clima no local do experimento com base na classificação climática proposta por Köppen é do tipo Cwb (temperado úmido com estação seca). A precipitação média anual excede 1.500 mm, o volume de chuva no mês mais seco é menor que 30 mm. A temperatura média no mês mais quente é inferior a 22°C e no mês mais frio é menor que 18°C (IPT, 1999).

4.2 Instalação da Pesquisa

A pesquisa foi instalada e conduzida por Veronez (2009) até os 26 meses após o plantio das mudas clonadas de eucalipto *Eucalyptus urograndis*, sendo que o plantio ocorreu em 12/04/2007. Após este período foi dada continuidade na coleta dos dados, monitoramento e implantadas modificações com intuito de melhorar a qualidade dos dados e diminuir a discrepâncias nos resultados das análises.

A instalação da pesquisa, item 4.2, foi conduzida por Veronez (2009).

As etapas de instalação da pesquisa, ou seja, a preparação da área para o plantio foi:

- Retirada de plantação de milho que existia na área por meio de trator, com colhedeira de carreta;
- Aplicação, por meio de bomba costal, de herbicida Glyphosato em toda área do experimento para eliminação das ervas daninhas e aplicação de herbicida 2,4 D em pontos isolados com infestação de ervas de folhas larga, que apresentaram resistência ao primeiro herbicida;
- Aplicação de formicida granulado (princípio ativo Sulfluramida Atta-Kill) e formicida líquido (princípio ativo Fipronil) para controle das formigas líquido.



Figura 4.2 - Limpeza da área experimental (retirada do milho)
Fonte: VERONEZ (2009)



Figura 4.3 - Aplicação de herbicida na área do experimento
Fonte: VERONEZ (2009)

4.2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental contou com as seguintes etapas:

- Posicionamento das parcelas dos tratamentos a partir da verificação do sentido do fluxo da água subterrânea realizada com a investigação do subsolo por meio do método de sondagem (SPT), sendo realizadas 3 perfurações não alinhadas. A partir destas informações foi realizado o levantamento altimétrico do terreno e determinadas as linhas equipotenciais do lençol freático, obtendo-se assim o sentido do fluxo da água subterrânea, conforme Tabela 4.1 e Figura 4.4.

Tabela 4.1 - Resultados das perfurações de sondagem

Perfuração	Nível da Água - Profundidade em relação a superfície (m)	Coordenadas		Altitude (m)
		N(m)	E(m)	
1	4,00	7.735.125	249.726	974
2	11,60	7.735.327	249.788	972
3	9,75	7.735.190	249.796	969

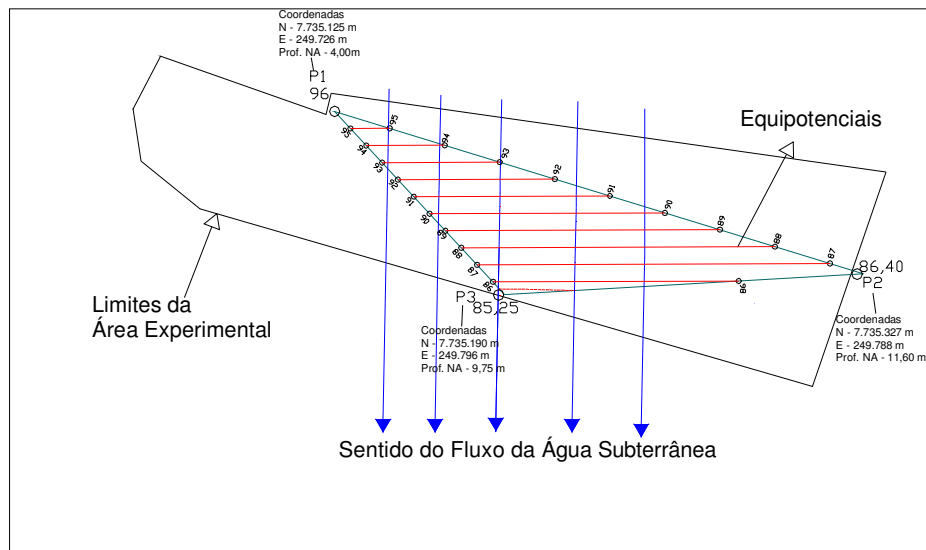


Figura 4.4 - Representação das linhas equipotenciais e sentido de fluxo da água subterrânea

Fonte: Adaptada de VERONEZ (2009)

- Demarcação das parcelas, sendo no total 8 tratamentos com 4 repetições cada, totalizando 32 parcelas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados. Cada parcela contou com uma área de 108 m² (9 m x 12 m), entre as parcelas de um mesmo tratamento foi delineada uma bordadura de 72 m² (6 m x 12 m) e entre as parcelas de tratamentos diferentes uma bordadura de 108 m² (9 m x 12 m) conforme demonstrado na Figura 4.5. A disposição dos poços também é apresentada nesta Figura.

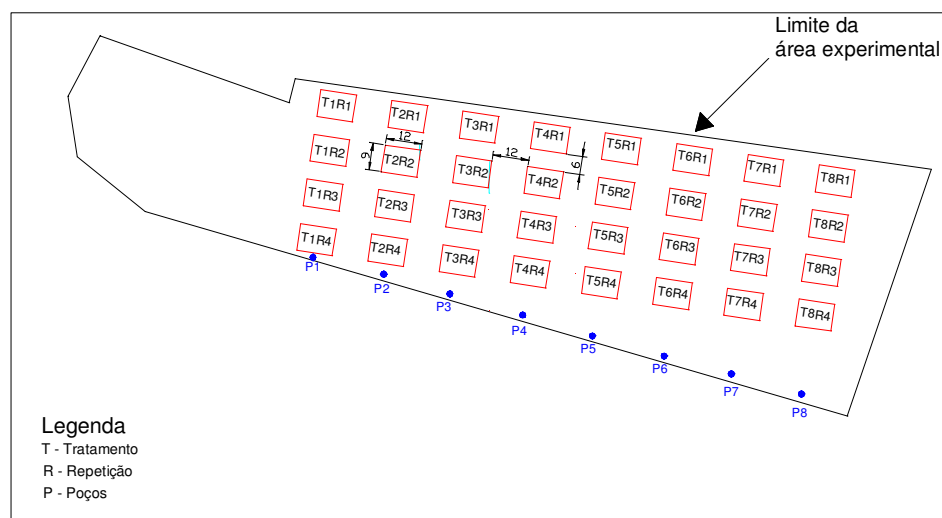


Figura 4.5 - Delineamento experimental implantado

Fonte: Adaptada de VERONREZ (2009)

Foram adotados na pesquisa os seguintes tratamentos:

Tabela 4.2 - Formas de irrigação e adubação dos tratamentos implantados

Tratamento	Quantidade de água/efluente	Adubação
T1	Água – necessidade hídrica do eucalipto	Sem adubação
T2	Água – necessidade hídrica do eucalipto	NPK + B + Zn
T3	Efluente – 1/3 da necessidade hídrica do eucalipto	NPK + B + Zn
T4	Efluente – 1/2 da necessidade hídrica do eucalipto	NPK + B + Zn
T5	Efluente – necessidade hídrica do eucalipto	NPK + B + Zn
T6	Efluente – necessidade hídrica do eucalipto	Sem adubação
T7	Efluente – 1,5 necessidade hídrica do eucalipto	NPK + B + Zn
T8	Sem irrigação	Sem adubação

4.2.2 Adubação e plantio

Foram coletadas amostras de solo para realização de uma amostragem composta de toda a área e análise de fertilidade do solo, na camada 0,00 - 0,20 m, sendo verificado, na ocasião, ser desnecessário efetuar a calagem, conforme recomendação do Boletim 100 do IAC.

Após a demarcação das parcelas, executaram-se os sulcos para adubação, utilizando um trator do tipo cafeeiro com o arado acoplado (Figura 4.6). Os sulcos foram direcionados de acordo com a topografia do terreno.



Figura 4.6 - Abertura dos sulcos para adubação na área de plantio de eucalipto
Fonte: VERONEZ (2009)

As parcelas T2 a T5 e T7 receberam, antes do plantio, adubação manual, sendo aplicadas em cada linha de plantio, dentro de cada parcela, as quantidades determinadas conforme a análise química da área e também com base no protocolo de adubação utilizado pela VCP (Votorantim Celulose e Papel), sendo 200 kg ha⁻¹ de 6:30:6 (NPK). Também foram aplicados os micronutrientes Boro e Zinco na quantidade de 3,30 kg ha⁻¹ cada. Para a aplicação dos micronutrientes, os sais foram previamente pesados e diluídos em água, permitindo assim uma aplicação mais precisa quantitativamente, em cada linha de cada parcela. Os adubos aplicados no experimento

foram na formulação granulada e apresentaram como fontes: de Nitrogênio – Nitrato, de Fósforo – Super Fosfato Simples, de Potássio – Cloreto de Potássio, de Boro – Borogran (10% de B) e de Zinco –Zincogran (15% de Zn).

Foram realizadas adubações de cobertura (nos tratamentos que receberam adubação) após períodos de seis meses e um ano do plantio. As coberturas também foram executadas com base no protocolo de adubação utilizado pela VCP, aplicaram-se 200 gramas por planta de 6:30:6 (NPK).

As mudas utilizadas na pesquisa foram doadas pela VCP -Votorantim Celulose e Papel, do viveiro florestal da unidade de Capão Bonito, sendo clonadas da espécie *Eucalyptus urograndis* e são apresentadas na Figura 4.7. Não havia interesse direto da referida empresa.



Figura 4.7 - Mudas de eucalipto utilizadas na pesquisa
Fonte: VERONEZ (2009)

O plantio foi realizado no mês de abril de 2007, de forma manual, com o auxílio de cavadeira Figura 4.8 utilizando-se o espaçamento de 3m x 2m, sendo 3m nas entrelinhas e 2m na linha. Portanto, cada parcela contava com 3 linhas e 6 plantas na mesma, perfazendo uma média de 18 plantas por parcela conforme Figura 4.9.



Figura 4.8 - Plantio de eucalipto na área experimental

Fonte: VERONEZ (2009)

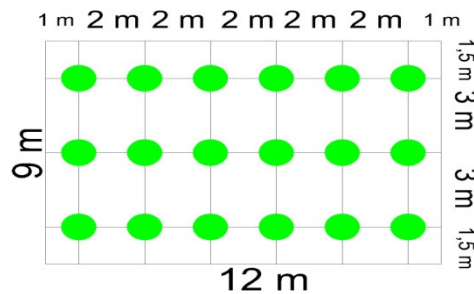


Figura 4.9 – Representação esquemática de uma parcela

Fonte: Autor (2011)

4.2.3 Instalação dos poços de monitoramento da água subterrânea

Para o monitoramento da qualidade da água subterrânea foram perfurados 8 poços a jusante dos tratamentos, conforme Figura 4.10, por meio de caminhão acoplado com perfuratriz. Os poços de monitoramento foram localizados a partir da determinação do fluxo da água subterrânea. A implantação dos poços foi realizada conforme a norma CETESB 6410 (1988) “Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas”, tendo sido todos os poços desinfetados, por meio da correção de pH e da aplicação de hipoclorito de sódio, com dosagem determinada em laboratório, antes

da irrigação. Foram coletadas amostras e verificados os atributos de qualidade de água, antes do início da aplicação de esgoto.



Figura 4.10 - Poço de monitoramento de água subterrânea instalado no experimento

Fonte: Autor (2011)

Foram feitas tentativas de perfuração de poço à montante para comparação com resultados analíticos dos poços após irrigação, mas devido a desmoronamento do solo não foi possível instalação deste poço de monitoramento. Com isso, o poço 8 (P8) foi adotado como “branco” para comparação com os demais poços, pois o Tratamento 8 não irrigado nem por água da represa, nem por efluente.

Cada tratamento, de 1 a 8, tem a água subterrânea monitorada pelo poço de mesmo número, também de 1 a 8.

A qualidade da água subterrânea dos poços está sendo analisada por meio de outra pesquisa, que está sendo desenvolvida concomitantemente na área do experimento.

4.2.4 Sistema de irrigação

Foi implantado um sistema de irrigação por aspersão, utilizando-se aspersor tipo sub-copa de baixa pressão e diâmetro interno acentuado, tipo pingo setorial apresentado na figura 4.11.



Figura 4.11 – Aspersor utilizado na pesquisa
Fonte: Autor (2011)

Foram utilizadas tubulações, conexões e registros à base de PVC e outros não metálicos no sistema de irrigação. Para instalação do sistema de irrigação, foi necessário executar as adutoras de água da represa e do efluente da ETE City Petrópolis, que alimentam por gravidade os reservatórios implantados na pesquisa, sendo dois depósitos de 3.000L cada um, ligados entre si para água represa. E para o armazenamento de efluente foram instalados três depósitos de 2.000L cada, interligados (Figura 4.13).

Dos reservatórios os líquidos são recalcados, por meio de redes independentes (água e esgoto) de PVC com diâmetro de 50 mm, por meio de 2 bombas multi-estágio,

modelo P11/4, motor trifásico 220 W e 2,0 CV de potência. O sistema foi inicialmente projetado para uma pressão na rede de irrigação de 60 mca.

O sistema, como pode ser observado na Figura 4.12, foi implantado utilizando 2 aspersores por parcela, que são alimentados por tubos de polietileno de 20mm de diâmetro, os quais derivam da rede secundária, exceto o tratamento 8, pois o mesmo não é irrigado (recebeu irrigação apenas nos primeiros dias após o transplante das mudas para o campo).

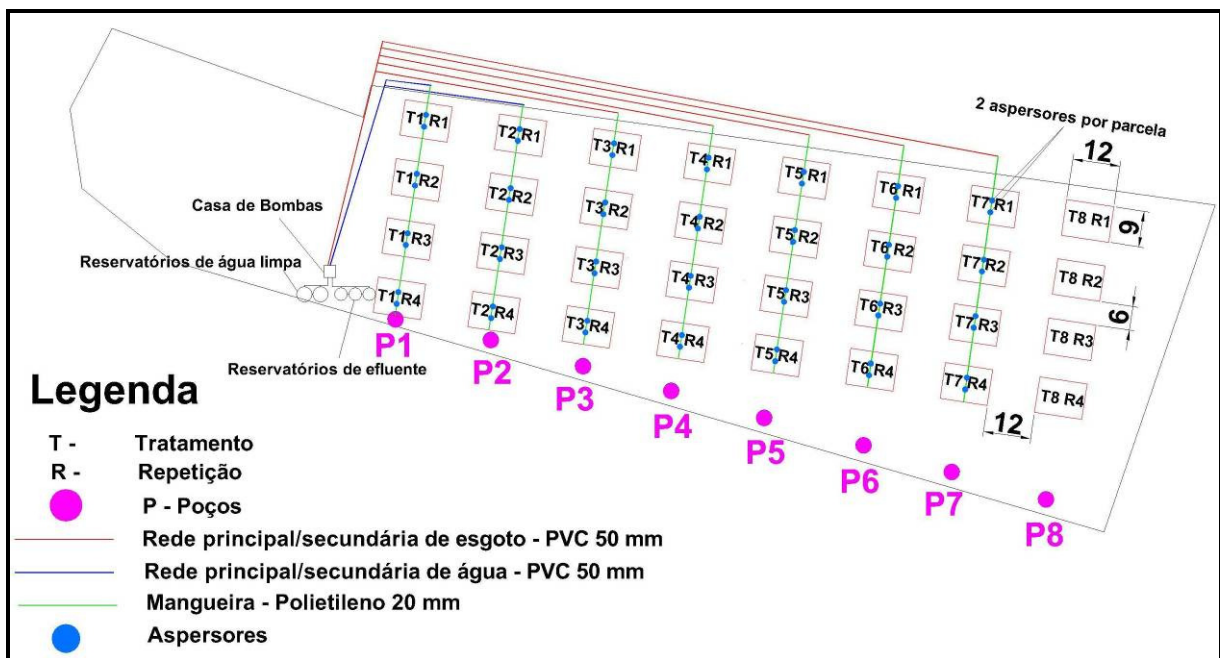


Figura 4.12 - Croqui do sistema de irrigação implantado na área experimental
 Fonte: Adaptado VERONEZ (2009)

O sistema de acionamento das bombas é manual. No intuito de proteger o sistema de recalque (bombas), foram implantados, nas tomadas de água e efluente, um filtro confeccionado com tela de nylon de malha 2,0 x 2,0 mm (tipo tela mosquiteiro) e também um filtro tipo Y na tubulação de entrada das bombas.



Figura 4.13 - Reservatórios de água e efluente implantados na pesquisa
Fonte: AUTOR (2011)

4.2.5 Instalação dos coletores de drenagem livre

Para o monitoramento da qualidade dos líquidos percolados, foram instalados, na linha central de plantio de cada parcela, 3 coletores de drenagem livre (coletores ou drenos), com distância entre eles de aproximadamente 1,00 m e implantados a 0,30 m, 0,60 m e 0,90 m de profundidade.

Os coletores foram confeccionados utilizando tubos de PVC de diâmetro 150 mm, comprimento de 0,40 m (sendo 2 partes de 0,20 m). Na junção das 2 partes do tubo foi colocado um ralo e sobre este uma tela de “nylon” (tela mosquiteiro), lã de vidro e uma camada de areia de 2 cm de espessura. Para tamponamento do fundo do coletor foi acoplado um “cap” de PVC. Nesse conjunto de peças, foi conectada mangueira de borracha, para sucção do líquido armazenado nestes coletores. Na Figura 4.14 pode ser observado o esquema de montagem dos coletores. Os alunos do Colégio Agrícola, sob orientação do Professor Dr. Ronaldo Stefanutti, confeccionaram os coletores.

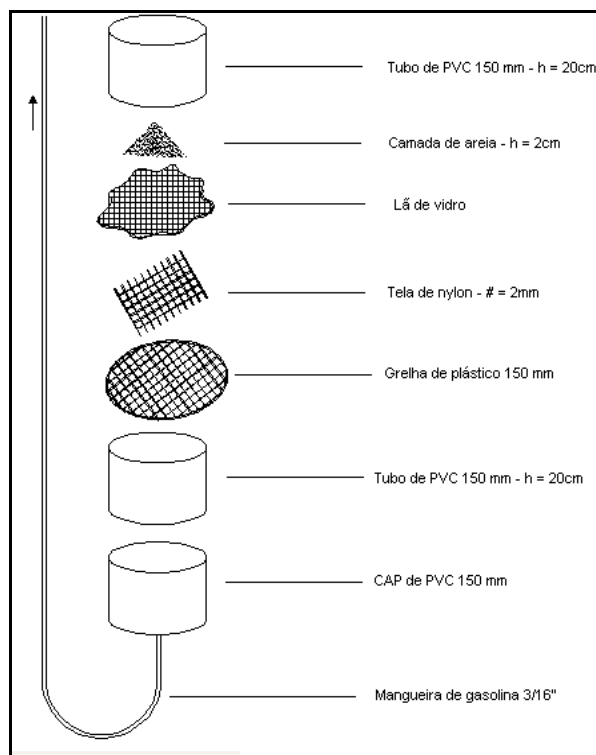


Figura 4.14 - Esquema dos coletores de drenagem

Fonte: VERONEZ (2009)

A escavação do terreno para instalação dos coletores foi executada por meio de cavadeira manual, instalando-se, posteriormente, nas devidas profundidades, aferidas a partir da superfície do solo até a extremidade superior do coletor. Os furos contendo os coletores foram aterrados com o mesmo solo retirado na escavação, sendo o mesmo compactado manualmente. Na Figura 4.15 é mostrada a instalação de um dos coletores.

Os parâmetros monitorados no período de 28 a 56 meses após o plantio dos eucaliptos foram: Alcalinidade total, Cloretos, Coliformes totais e *Escherichia coli*, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Nitrogênio Amoniacal, Sólidos totais de pelo uma repetição de cada profundidade de cada tratamento e Cádmio total, Chumbo total, Cobre total, Condutividade, Cromo total, Nitrato, pH, Sódio total, Zinco total, Cálcio total, Magnésio total de todas as repetições

de cada profundidade de cada tratamento. A coleta foi condicionada à presença de percolado nos drenos no período coletado.



Figura 4.15 - Instalação de um coletor no experimento. Colégio Agrícola, Franca/SP

Fonte: VERONEZ (2009)

4.3 Caracterização e Capacidade de Retenção de Água do Solo

O solo da área do experimento foi classificado, em função das análises físicas e químicas da área do experimento como Neossolo Quartzarênico, conforme a classificação da EMBRAPA (2006).

A determinação da necessidade hídrica da planta foi estabelecida em função dos ensaios físicos e da determinação da curva de retenção de água. Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas profundidades 0,00 – 0,20; 0,20 – 0,40; 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80m, encaminhadas ao laboratório de solos da FEAGRI/UNICAMP e foram obtidas as densidades de partícula (relação entre massa e volume), e a densidade do

solo. Em função dos resultados, foi calculada a lâmina de irrigação, sendo considerada uma aplicação de 7 mm, como suficiente para as necessidades hídricas das plantas e para o primeiro estágio de desenvolvimento.

4.4 Irrigação e Precipitações Pluviométricas

Os dados referentes às precipitações pluviométricas foram registrados por meio da leitura dos índices (pluviométricos) em um pluviômetro instalado nas proximidades do campo experimental.

Os tratamentos irrigados receberam água ou efluente de 2 a 4 dias na semana. Na Tabela 4.3 é apresentada a síntese das lâminas aplicadas e das precipitações naturais no período. As lâminas apresentaram discrepâncias nos valores aplicados em função de problemas apresentados pelas bombas de irrigação, mas a proporcionalidade na quantidade de efluente aplicado foi mantida para cada tratamento.

Tabela 4.3 - Resumo da pluviometria e das lâminas de irrigação

Meses	Pluviometria (mm)	Irrigação c/ água (mm)		Irrigação c/ efluente (mm)				
		T1 - Água	T2 - Água	T3 - Esgoto	T4 - Esgoto	T5 - Esgoto	T6 - Esgoto	T7 - Esgoto
Ano de 2008								
Subtotal (Jan-Dez)	1.707,4	1.844,5	1.736,0	605,2	980,0	1.748,3	2.040,5	2.583,0
Ano de 2009								
jan/09	382,0	*	*	*	*	*	*	*
fev/09	235,0	*	*	65,2	84,0	168,0	168,0	252,0
mar/09	187,0	70,0	70,0	84,0	112,0	206,5	238,0	322,0
abr/09	54,0	196,0	196,0	74,5	112,0	206,5	196,0	294,0
mai/09	92,9	196,0	196,0	73,5	112,0	206,5	210,0	308,0
jun/09	28,7	182,0	182,0	73,5	112,0	206,5	196,0	294,0
jul/09	24,1	*	*	*	*	*	*	*
ago/09	30,1	56,0	56,0	21,0	28,0	94,5	91,0	182,0
set/09	131,0	*	*	*	*	*	*	*
out/09	263,3	42,0	42,0	28,0	28,0	56,0	63,0	84,0
nov/09	137,1	28,0	28,0	18,7	28,0	32,2	31,5	42,0
dez/09	277,4	168,0	168,0	28,0	70,0	115,5	84,0	140,0
Subtotal	1.842,6	938,0	938,0	466,3	686,0	1.292,2	1.277,5	1.918,0
Ano de 2010								
jan/10	402,2	14,0	28,0	28,0	84,0	122,5	66,5	126,0
fev/10	191,9	*	*	9,3	14,0	21,0	84,0	42,0
mar/10	219,4	42,0	42,0	18,7	28,0	80,5	91,0	140,0
abr/10	18,5	168,0	154,0	55,9	98,0	119,0	133,0	196,0
mai/10	21,1	98,0	112,0	37,2	70,0	105,0	77,0	182,0
jun/10	10,2	112,0	140,0	37,2	84,0	122,5	157,5	196,0
jul/10	0	56,0	70,0	18,6	56,0	21,0	91,0	42,0
ago/10	0	126,0	126,0	*	*	*	*	*
set/10	112,0	84,0	84,0	9,3	14,0	17,5	-	-
out/10	192,6	28,0	56,0	18,6	14,0	35,0	28,0	28,0
nov/10	217,4	84,0	98,0	37,2	42,0	98,0	98,0	140,0
dez/10	195,4	42,0	70,0	27,9	56,0	56,0	70,0	70,0
Subtotal	1.580,7	854,0	980,0	298,1	560,0	798,0	896,0	1.162,0
Ano de 2011								
jan/11	299,0	*	*	*	*	*	*	*
fev/11	174,9	*	*	*	*	*	*	*
mar/11	396,7	*	*	18,6	42,0	-	77,0	126,0
abr/11	127,3	*	*	9,3	28,0	52,5	84,0	112,0
mai/11	3,3	-	-	27,9	70,0	164,5	87,5	154,0
jun/11	0	-	-	27,9	70,0	164,5	87,5	154,0
jul/11	0	126,0	126,0	46,6	73,5	122,5	119,0	182,0
ago/11	0	154,0	126,0	46,6	84,0	150,5	161,0	210,0
set/11	44,3	168,0	133,0	74,5	98,0	210,0	182,0	266,0
out/11	90,7	98,0	91,0	27,9	56,0	94,5	112,0	252,0
nov/11	133,6	98,0	98,0	37,2	84,0	105,0	119,0	168,0
Dez/11	313,0	168,0	168,0	55,9	70,0	154,0	185,5	266,0
Subtotal	1.582,8	812,0	742,0	372,4	675,5	1.218,0	1.214,5	1.890,0
Total	6.713,5	4.448,5	4.396,0	1.742,1	2.901,5	5056,5	5.428,5	7.553,0

* Não houve irrigação, pois as bombas estavam com problemas. O período era chuvoso.

Para monitorar a quantidade de água aplicada na irrigação e conseqüentemente a umidade do solo, foram instalados tensiômetros a 0,30; 0,60 e 0,90 m de profundidade, em uma parcela de cada tratamento, na Figura 4.16 é apresentado um tensiômetro instalado na pesquisa.

O tensiômetro é utilizado para determinar a umidade atual e o armazenamento de água no solo. Esse aparelho mede a tensão de água ou potencial matricial do solo, que pode ser convertido para umidade do solo. O tensiômetro é constituído por um tubo plástico com um vacuômetro e um tampão conectados na parte superior e, uma cápsula de cerâmica porosa instalada na sua extremidade inferior.

Segundo Neto et al. (2007), quando o tensiômetro se encontra instalado adequadamente no campo, a água do seu interior entra em contato com a do solo, por meio dos poros da cápsula porosa e, o equilíbrio tende a se estabelecer. À medida que ocorre a evapotranspiração, a umidade do solo diminui e reduz a pressão dentro do tensiômetro, a qual é medida no vacuômetro. No entanto, quando chove ou ocorre irrigação, a umidade do solo aumenta e, o equilíbrio entre as águas do solo e do tensiômetro tende a ser novamente estabelecido, elevando a pressão hidrostática no interior do equipamento. As tensões medidas no tensiômetro variam de 0 (condição de solo saturado) a 0,75 atm (75 kPa).

A leitura das medições dos tensiômetros foi monitorada antes e depois de cada período de irrigação, no intuito de verificar se as lâminas hídricas aplicadas estavam adequadas à necessidade da planta.



Figura 4.16 - Tensiômetro instalado na área experimental
Fonte: AUTOR (2010)

4.5 Caracterização do Afluente, Efluente e da Água Utilizados na Irrigação

No experimento foi utilizado para irrigação o efluente sanitário da Estação de Tratamento de Esgotos do bairro City Petrópolis e também a água da represa situada na Escola Técnica Estadual Professor Carmelino Correa Junior (Colégio Agrícola).

O sistema de tratamento de esgotos do bairro City Petrópolis é operado pela concessionária Sabesp e composto por pré-tratamento (gradeamento e caixa de areia) e lagoa facultativa (que é mostrada na Figura 4.17). O volume da lagoa é de 6.741 m^3 , a vazão estimada é de 3 L s^{-1} ($268 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$) e o tempo de detenção teórico do sistema é de aproximadamente 25 dias. Porém, atualmente o tempo de detenção está em torno de 19 dias, devido ao volume de lodo interno (25% do volume da lagoa). O corpo receptor dos efluentes é o Córrego Pouso Alto, corpo d'água classe 2, afluente do Rio Canoas (manancial responsável por 80 % do abastecimento público da cidade de Franca). A adução do efluente foi feita por gravidade por meio de uma tubulação mista de ferro fundido com diâmetro de 100 mm e PVC com diâmetro de 50 mm.



Figura 4.17 - Vista da ETE City Petrópolis, Franca-SP e eucaliptos ao fundo.
Fonte: AUTOR (2011)

A água utilizada na irrigação é de uma represa (Figura 4.18), proveniente de um barramento no córrego Pouso Alto, corpo d'água classe 2, a montante do lançamento da ETE City Petrópolis, de onde é aduzida por gravidade até os reservatórios do experimento, por meio de uma tubulação de PVC 50 mm.



Figura 4.18 - Represa utilizada como fonte de água para irrigação
Fonte: AUTOR (2011)

A caracterização do esgoto afluente e efluente da ETE City Petrópolis, e da água da represa, foi realizada por meio de uma série de campanhas, através de amostras compostas. As análises dos atributos foram feitas no Laboratório da Divisão de Controle Sanitário e Ambiental da Sabesp, cujos ensaios são acreditados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, e Qualidade Industrial) e de acordo com o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” – 21ª ed.- AWWA (American Water and Wastewater Association).

4.6 Monitoramento do DAP

Um dos atributos utilizados pela Engenharia Florestal para medir a produtividade da cultura é o DAP (diâmetro à altura do peito), medido a 1,30 m da base do tronco. A análise do DAP foi realizada bimestralmente até o mês de junho de 2008 e mensalmente após esse período. Esse atributo foi monitorado por meio de medição, utilizando como instrumento o paquímetro (Figura 4.19).



Figura 4.19 - Medição do DAP do caule do eucalipto
Fonte: AUTOR (2010)

A medição do DAP foi padronizada para ser feita sempre na mesma posição do tronco, ou seja, na parte de baixo da planta em relação à declividade do terreno, para evitarem-se erros de medida em função dos troncos normalmente não serem perfeitamente cilíndricos. Esta modificação permitiu acompanhar o crescimento médio das plantas.

4.7 Monitoramento dos Percolados

O monitoramento dos líquidos percolados foram realizados em 6 coletas de amostras. Estas coletas ocorreram nos meses de março/2010, Julho/2010, dezembro/2010, março/2010, Julho/2011 e Dezembro/2011.

As coletas ocorreram nos coletores de 0,30m, 0,60m e 0,90m de profundidade totalizando 96 amostras por cada mês citado acima. Houve situações em que não havia líquido percolado no coletor ou não houve volume suficiente de amostra para realização do ensaio. Neste caso, foram analisados os parâmetros DBO e Nitrato, principalmente.

As coletas foram realizadas utilizando-se frasco de vidro com capacidade de 1000mL com o auxílio de uma bomba de vácuo, conforme apresentado na Figura 4.20.



Figura 4.20 - Coleta do líquido percolado
Fonte: AUTOR (2010)

As coletas foram realizadas em um único dia de cada mês em todos os coletores que continham percolado nas profundidades de 0,30m, 0,60m e 0,90m e os ensaios realizados no laboratório da SABESP de Franca.

Foram analisados os seguintes parâmetros em todos os coletores que continham líquido percolado: Cádmio total, Chumbo total, Cobre total, Condutividade, Cromo total, Nitrato, pH, Sódio Total, Zinco Total, Cálcio Total e Magnésio Total.

Foram analisados os seguintes parâmetros em um coletor de cada tratamento de cada profundidade que continha líquido percolado: Alcalinidade Total, Coliformes totais e *Escherichia coli* (99% dos coliformes termotolerantes presente no efluente doméstico é *E. coli*), Cloretos, DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal e Sólidos Totais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização e Capacidade de Retenção de Água do Solo

As tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam os resultados das características químicas e físicas do solo no início do experimento e os obtidos nos tratamentos do experimento em Agosto/2010 nas profundidades de 0,0 a 0,2m e 0,2 a 0,4m, respectivamente.

Tabela 5.1 - Resultados das análises de fertilidade do solo e metais em amostras na área experimental no início do projeto.

Parâmetro	Unidade	Profundidade(m)	
		0-0,2	0,2-0,4
M.O .	g dm ³⁻	25	22
pH		5,7	5,5
P	mg dm ³⁻	20	8
K	mmol _c dm ³⁻	0,9	1,3
Ca	mmol _c dm ³⁻	21	17
Mg	mmol _c dm ³⁻	7	6
H + Al	mmol _c dm ³⁻	16	18
S.B.	mmol _c dm ³⁻	28,9	24,3
C.T.C.	mmol _c dm ³⁻	45,3	42,5
V%	%	64	57
B	mg dm ³⁻	0,2	0,2
Cu	mg dm ³⁻	2,1	3
Fe	mg dm ³⁻	17	16
Mn	mg dm ³⁻	1,8	1,2
Zn	mg dm ³⁻	13,1	10,2
Cd	mg dm ³⁻	0,04	0,03
Cr	mg dm ³⁻	< 0,01	< 0,01
Ni	mg dm ³⁻	0,06	0,04
Pb	mg dm ³⁻	2,77	2,22

Tabela 5.2 - Resultados médios das análises de fertilidade do solo e metais nos tratamentos na área experimental em Agosto/2010 na profundidade de 0 a 0,2m.

Parâmetro	Unidade	Tratamento							
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
M.O .	g dm ⁻³	16,2	16,5	16,2	17,0	17,2	18,2	16,5	17,2
pH		5,2	5,0	5,0	4,7	4,6	4,5	4,4	4,9
P	mg dm ⁻³	12,0	42,8	12,2	12,8	13,5	51,5	17,5	10,8
K	mmol _c dm ⁻³	0,65	0,73	0,70	0,5	0,6	0,6	0,7	0,9
Ca	mmol _c dm ⁻³	14,5	16,2	11,0	10,8	11,5	9,2	9,0	10,5
Mg	mmol _c dm ⁻³	4,2	3,5	2,8	2,2	1,8	1,5	1,5	4,0
Na	mmol _c dm ⁻³	<0,1	0,15	0,48	0,63	0,50	1,05	0,93	<0,1
H + Al	mmol _c dm ⁻³	23	21	16	23	25	31	24	18
S.B.	mmol _c dm ⁻³	20,2	20,5	14,2	14,2	14,5	12,3	12,0	15,2
C.T.C.	mmol _c dm ⁻³	43,4	41,9	30,2	38,0	39,6	43,6	35,7	33,9
V%	%	46,5	45,5	45,5	37,5	36,2	28,8	33,2	44,5
B	mg dm ⁻³	0,11	0,19	0,11	0,14	0,15	0,18	0,15	0,14
Cu	mg dm ⁻³	4,4	4,2	1,9	2,2	1,4	2,6	0,8	0,9
Fe	mg dm ⁻³	50,8	37,5	20,5	35,5	42,5	73,3	37,2	26,0
Mn	mg dm ⁻³	4,6	3,3	0,9	2,6	2,2	2,4	1,7	1,1
Zn	mg dm ⁻³	26,7	26,8	9,1	12,4	15,2	7,6	2,0	3,2

Onde: M.O.=Matéria Orgânica; P=Fósforo; K=Potássio; Ca=Cálcio; Mg=Magnésio; Na=Sódio; H + Al=Acidez total; S.B.=Soma de Base; C.T.C.=Capacidade de troca de cátions; V%=porcentagem da CTC saturada por bases a pH 7; B=Boro; Cu=Cobre; Fe=Ferro; Mn=Manganês; Zn=Zinco.

Tabela 5.3 - Resultados médios das análises de fertilidade do solo e metais nos tratamentos na área experimental em Agosto/2010 na profundidade de 0,2 a 0,4m.

Parâmetro	Unidade	Tratamento							
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
M.O.	g dm ⁻³	16,2	16,8	14,2	14,0	13,0	14,5	14,0	14,5
pH		5,2	5,2	5,2	4,9	4,9	4,6	4,8	5,2
P	mg dm ⁻³	12,0	51,5	6,5	5,2	4,0	36,8	15,8	8,8
K	mmol _c dm ⁻³	0,65	0,68	0,50	0,90	0,48	0,58	0,60	0,85
Ca	mmol _c dm ⁻³	14,5	19,8	11,0	9,5	7,2	8,2	8,8	10,5
Mg	mmol _c dm ⁻³	4,2	3,5	2,8	1,8	1,2	2,0	2,8	5,2
Na	mmol _c dm ⁻³	<0,1	0,15	0,25	0,70	0,35	0,80	0,93	<0,1
H + Al	mmol _c dm ⁻³	17,2	17,5	16,0	18,0	16,5	23,0	18,5	16,2
S.B.	mmol _c dm ⁻³	19,4	24,2	14,2	13,0	9,4	11,5	13,2	16,2
C.T.C.	mmol _c dm ⁻³	36,9	42,0	30,2	31,2	25,9	34,8	32,0	32,8
V%	%	52,2	54,5	45,5	40,5	36,5	32,5	41,0	48,8
B	mg dm ⁻³	0,11	0,15	0,11	0,13	0,11	0,13	0,12	0,11
Cu	mg dm ⁻³	3,3	4,0	1,9	1,4	0,6	1,7	0,6	0,6
Fe	mg dm ⁻³	26,5	30,8	20,5	23,5	20,5	28,0	27,2	18,2
Mn	mg dm ⁻³	1,6	2,4	0,9	1,4	0,6	2,6	0,8	0,7
Zn	mg dm ⁻³	23,3	25,8	9,1	7,5	1,4	6,8	0,73	1,0

Onde: M.O.=Matéria Orgânica; P=Fósforo; K=Potássio; Ca=Cálcio; Mg=Magnésio; Na=Sódio; H+Al=Acidez total; S.B.=Soma de Base; C.T.C.=Capacidade de troca de cátions; V%=porcentagem da CTC saturada por bases a pH 7; B=Boro; Cu=Cobre; Fe=Ferro; Mn=Manganês; Zn=Zinco.

A determinação da necessidade hídrica da planta foi estabelecida em função dos ensaios físicos e da determinação da curva de retenção de água. Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas profundidades 0,00 – 0,20; 0,20 – 0,40; 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80m, encaminhadas ao laboratório de solos da FEAGRI/UNICAMP e foram obtidas as densidades de partícula (relação entre massa e volume), e a densidade do solo. Em função dos resultados, foi calculada a lâmina de irrigação, sendo considerada uma aplicação de 7 mm, como suficiente para as necessidades hídricas das plantas e para o primeiro estágio de desenvolvimento.

A lâmina de água a ser aplicada deveria corresponder com à umidade determinada em amostras de solo, na profundidade de instalação dos tensiômetros, 0,30; 0,60 e 0,90 m. Esta medida confirmou que a lâmina aplicada foi suficiente para atender às necessidades hídricas das plantas, sem percolação de água na profundidade de 0,90 m, indicando que a lamina calculada correspondeu às

determinações em campo, para atender a uma necessidade hídrica, conforme a proposta do tratamento T6. Estas determinações e o monitoramento foram importantes para o correto estabelecimento da cultura, da aplicação da lâmina hídrica e para evitar a poluição do lençol freático.

Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados da determinação da capacidade de retenção de água no solo no local do experimento.

Tabela 5.4 – Resultados da determinação da capacidade de retenção de água no solo

Camada 0,00 – 0,20 m						
CC (g g ⁻¹)	Ds (Kg dm ⁻³)	CC (cm ³ cm ⁻³)	PM (cm ³ cm ⁻³)	CC (mm)	PM (mm)	CAD (mm)
0,15	153	0,23	0,16	45,90	32,74	13
Camada 0,20 – 0,40 m						
CC (g g ⁻¹)	Ds (Kg dm ⁻³)	CC (cm ³ cm ⁻³)	PM (cm ³ cm ⁻³)	CC (mm)	PM (mm)	CAD (mm)
0,14	149	0,21	0,13	41,72	26,82	15
Camada 0,40 – 0,60 m						
CC (g g ⁻¹)	Ds (Kg dm ⁻³)	CC (cm ³ cm ⁻³)	PM (cm ³ cm ⁻³)	CC (mm)	PM (mm)	CAD (mm)
0,13	143	0,19	0,13	37,75	25,74	12
Camada 0,60 – 0,80 m						
CC (g g ⁻¹)	Ds (Kg dm ⁻³)	CC (cm ³ cm ⁻³)	PM (cm ³ cm ⁻³)	CC (mm)	PM (mm)	CAD (mm)
0,14	148	0,21	0,15	42,03	30,19	12

Sendo:

Ds = densidade do solo;

CC = umidade do solo na capacidade de campo;

PM = ponto de murcha permanente;

CAD = Capacidade de água disponível no solo (diferença entre CC e PM).

5.2 Caracterização do Afluente, Efluente e da Água Utilizados na Irrigação

Nas Tabelas 5.5, 5.6 e 5.7, são descritos os resultados dos atributos físicos, químicos e microbiológicos monitorados na água da represa, no afluente e efluente da ETE City Petrópolis.

Tabela 5.5 - Caracterização da água da represa realizadas entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão
Alumínio Total	mg L ⁻¹	0,093	0,038
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0040	-
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0050	-
Bário	mg L ⁻¹	< 0,070	-
Boro	mg L ⁻¹	< 0,50	-
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0010	-
Cálcio	mg L ⁻¹	0,783	-
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,0030	-
Cianeto	mg L ⁻¹	<0,002	-
Cloreto	mg L ⁻¹	3	2
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,005	-
Coli Total	NMP 100mL ⁻¹	1,42E+04	1,23E+04
Condutividade	µS.cm ⁻¹	20,82	2,45
Cor Verdadeira	UC	12	5
Cromo Total	mg L ⁻¹	< 0,010	-
DBO	mg L ⁻¹	< 4	-
DQO	mg L ⁻¹	13,6	3,5
<i>E. coli</i>	NMP 100mL ⁻¹	1,48E+3	1,46E+3
Estanho	mg L ⁻¹	< 1,5	-
Ferro Dissolvido	mg L ⁻¹	0,359	0,418
Fluoreto	mg L ⁻¹	< 0,1	-
Fósforo	mg L ⁻¹	0,08	0,03
Magnésio	mg L ⁻¹	0	-
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,034	0,018
Mercúrio	mg L ⁻¹	< 0,00050	-
Nitrato	mgNO ₃ -N L ⁻¹	< 1	-
Nitrito	mg L ⁻¹	< 0,2	-
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹	0,20	0,09
Óleos e graxas	mg L ⁻¹	0	-
Oxigênio Dissolvido	mg L ⁻¹	7,0	0,8
pH	-	7,1	0,3
Prata	mg L ⁻¹	< 0,010	-
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0030	-
Sódio Total	mg L ⁻¹	< 0,50	-
Sólidos Sedimentáveis	mg L ⁻¹	< 0,10	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg L ⁻¹	< 60	-
Sulfato	mg L ⁻¹	< 10	-
Sulfetos	mg L ⁻¹	< 0,005	-
Surfactantes aniônicos	mg L ⁻¹	< 0,15	-
Temperatura da amostra	°C	20	-
Turbidez	NTU	20,3	2,1
Zinco	mg L ⁻¹	< 0,010	-

Tabela 5.6 - Caracterização do afluente da ETE City Petrópolis realizadas entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0040	-
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0050	-
Bário	mg L ⁻¹	< 0,070	-
Boro	mg L ⁻¹	< 0,50	-
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0010	-
Cálcio	mg L ⁻¹	38,95	-
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,0030	-
Cianeto	mg L ⁻¹	<0,002	-
Cloreto	mg L ⁻¹	184	125
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,005	-
Coli Total	NMP 100mL ⁻¹	1,15E+8	4,83E+7
Condutividade	µS.cm ⁻¹	1180,2	282,0
Cromo Total	mg L ⁻¹	< 0,010	-
DBO	mg L ⁻¹	637	111
DQO	mg L ⁻¹	1327	254
<i>E. coli</i>	NMP 100mL ⁻¹	2,45E+7	1,21E+7
Estanho	mg L ⁻¹	< 1,5	-
Ferro Dissolvido	mg L ⁻¹	0,540	0,236
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,7	0,1
Fósforo	mg L ⁻¹	11,25	0,07
Magnésio	mg L ⁻¹	7,59	-
Manganês Dissolvido	mg L ⁻¹	0,048	0,020
Mercúrio	mg L ⁻¹	< 0,00050	-
Nitrato	mgNO ₃ -N L ⁻¹	1,01	0,01
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹	68,0	25,9
Óleos e graxas	mg L ⁻¹	131	71
pH	-	7,1	0,4
Prata	mg L ⁻¹	< 0,010	-
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0030	-
Sódio Total	mg L ⁻¹	88,99	13,07
Sólidos Sedimentáveis	mg L ⁻¹	6,8	1,1
Sólidos Dissolvidos Totais	mg L ⁻¹	257	105
Sulfetos	mg L ⁻¹	1,980	1,970
Temperatura da amostra	°C	25	1
Zinco	mg L ⁻¹	< 0,010	-

Tabela 5.7 - Caracterização do efluente da ETE City Petrópolis realizadas entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0040	-
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0050	-
Bário	mg L ⁻¹	< 0,070	-
Boro	mg L ⁻¹	< 0,50	-
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0010	-
Cálcio	mg L ⁻¹	36,27	-
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,0030	-
Cianeto	mg L ⁻¹	<0,002	-
Cloreto	mg L ⁻¹	140	46
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,005	-
Coli Total	NMP 100mL ⁻¹	5,63E+6	2,96E+6
Condutividade	µS.cm ⁻¹	795,20	48,84
Cromo Total	mg L ⁻¹	< 0,010	-
DBO	mg L ⁻¹	143	25
DQO	mg L ⁻¹	491	14
<i>E. coli</i>	NMP 100mL ⁻¹	1,43E+6	8,85E+5
Estanho	mg L ⁻¹	< 1,5	-
Ferro Dissolvido	mg L ⁻¹	0,325	0,088
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,7	0,1
Fósforo	mg L ⁻¹	6,80	1,00
Magnésio	mg L ⁻¹	5,472	-
Manganês Dissolvido	mg L ⁻¹	0,051	0,021
Mercúrio	mg L ⁻¹	< 0,00050	-
Nitrato	mgNO ₃ -N L ⁻¹	<1	-
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹	31,7	3,1
Óleos e graxas	mg L ⁻¹	15	7
pH	-	7,3	0,1
Prata	mg L ⁻¹	< 0,010	-
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0030	-
Sódio Total	mg L ⁻¹	70,70	9,67
Sólidos Sedimentáveis	mg L ⁻¹	< 0,10	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg L ⁻¹	352	176
Sulfetos	mg L ⁻¹	0,5313	0,5628
Temperatura da amostra	°C	21	1
Zinco	mg L ⁻¹	< 0,010	-

Verifica-se, de acordo com as Tabelas 5.6 e 5.7, que a ETE City Petrópolis possui uma eficiência satisfatória, pois analisando a eficiência média de remoção de alguns atributos podem-se observar os seguintes índices: de 78% para DBO, 63% para DQO, 95% para Coli Total, 94 % para E. Coli e praticamente 100% para sólidos sedimentáveis.

Quanto a RAS (Razão de Adsorção de Sódio) do efluente utilizaram-se as seguintes concentrações para o cálculo:

- Sódio = $70,70 \text{ mg L}^{-1} = 3,07 \text{ mEq L}^{-1}$
- Cálcio = $36,27 \text{ mg L}^{-1} = 1,81 \text{ mEq L}^{-1} = 1,81 \text{ mmol L}^{-1}$
- Magnésio = $5,472 \text{ mg L}^{-1} = 0,45 \text{ mEq L}^{-1} = 0,45 \text{ mmol L}^{-1}$
- Condutividade elétrica = $795,2 \text{ } \mu\text{s cm}^{-1} = 795,2 \text{ micromhos cm}^{-1} = 0,795 \text{ ds m}^{-1}$

O valor da RAS calculada equivale a 2,89.

De acordo com o diagrama para classificação de água de irrigação, Figura 3.3, C3S1 são águas com salinidade alta e baixa sodificação, não podendo ser usadas em solos de drenagem deficiente, prestando-se para culturas com boa tolerância salina.

5.3 Avaliação do DAP

Na primeira etapa dessa pesquisa, Veronez (2009) concluiu que a aplicação de efluente é viável tanto nos aspectos agrônômicos quanto ambientais, porém o mesmo ressaltou que alguns cuidados devem ser tomados, visando evitar a salinização do solo e a proteção das águas subterrâneas.

Na tabela 5.8 são apresentados os resultados da avaliação estatística. Para facilitar a visualização dos dados, estão apresentados os resultados de medidas de alguns meses do DAP.

Tabela 5.8 – Análise estatística dos resultados do DAP

Tratamentos	Meses	Media (mm)	Mediana (mm)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Tratamentos	Meses	Media (mm)	Mediana (mm)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
T 1	ago/09	71,76	75,00	19,94	27,78	T 5	ago/09	109,51	115,00	18,49	16,88
	out/09	84,32	89,00	23,08	27,37		out/09	127,54	136,00	27,48	21,54
	dez/09	87,40	93,00	23,70	27,12		dez/09	130,15	138,00	28,91	22,21
	mar/10	96,30	100,00	26,80	27,50		mar/10	138,28	146,00	33,72	24,39
	jun/10	104,29	110,00	28,19	27,03		jun/10	142,67	153,00	36,02	25,24
	set/10	109,35	114,00	29,74	27,20		set/10	146,05	156,00	38,17	26,14
	dez/10	116,21	120,00	32,48	27,95		dez/10	149,22	159,50	39,21	26,28
	mar/11	120,25	126,00	34,22	28,46		mar/11	151,48	161,00	40,62	26,82
	jun/11	123,63	127,00	36,00	29,19		jun/11	154,15	164,00	42,38	27,49
	set/11	124,04	127,00	38,47	31,02		set/11	154,20	166,00	45,55	29,54
	nov/11	129,02	130,00	38,32	29,70		nov/11	155,11	166,00	45,72	29,47
T 2	ago/09	95,03	95,00	18,17	19,12	T 6	ago/09	103,14	110,00	21,47	20,82
	out/09	110,54	115,50	22,29	20,16		out/09	119,62	122,00	29,44	24,61
	dez/09	114,64	120,50	22,69	19,79		dez/09	122,85	126,00	30,34	24,70
	mar/10	124,27	129,00	24,99	20,11		mar/10	130,35	135,00	33,92	26,02
	jun/10	131,41	136,50	26,75	20,36		jun/10	135,98	144,00	36,94	27,17
	set/10	134,60	139,50	28,34	21,05		set/10	139,85	147,00	39,07	27,93
	dez/10	140,34	144,00	30,64	21,83		dez/10	143,11	153,00	40,64	28,40
	mar/11	144,00	148,50	32,10	22,29		mar/11	145,83	156,50	42,15	28,90
	jun/11	145,91	149,50	32,77	22,46		jun/11	146,89	159,00	43,69	29,74
	set/11	148,22	152,00	35,89	24,22		set/11	147,65	160,00	43,43	29,41
	nov/11	151,14	154,00	37,30	24,68		nov/11	149,40	161,00	43,59	29,18
T 3	ago/09	105,56	115,00	23,62	22,38	T 7	ago/09	114,96	120,00	16,54	14,39
	out/09	124,70	135,50	31,56	25,31		out/09	134,41	139,50	23,42	17,42
	dez/09	128,58	142,00	32,55	25,31		dez/09	137,49	143,00	24,49	17,82
	mar/10	138,21	154,00	36,07	26,10		mar/10	145,27	152,00	27,92	19,22
	jun/10	144,23	160,00	38,47	26,67		jun/10	151,69	159,00	30,60	20,17
	set/10	147,30	163,50	40,50	27,49		set/10	155,12	163,00	32,55	20,98
	dez/10	151,18	170,00	42,31	27,99		dez/10	158,52	167,00	33,40	21,07
	mar/11	154,32	174,00	43,49	28,19		mar/11	159,64	167,00	34,36	21,53
	jun/11	156,59	174,50	44,47	28,40		jun/11	162,42	169,50	35,38	21,78
	set/11	156,61	174,50	47,19	30,13		set/11	164,74	175,00	38,71	23,50
	nov/11	157,88	176,00	47,76	30,25		nov/11	166,50	175,50	39,05	23,45
T 4	ago/09	108,94	115,00	18,34	16,84	T 8	ago/09	83,60	85,00	18,50	22,13
	out/09	127,22	135,00	26,33	20,69		out/09	99,03	96,00	22,35	22,57
	dez/09	130,82	139,50	27,61	21,11		dez/09	101,89	100,50	23,89	23,45
	mar/10	137,57	146,00	30,39	22,09		mar/10	111,11	114,50	25,56	23,00
	jun/10	144,60	155,00	33,15	22,92		jun/10	117,64	125,00	27,75	23,59
	set/10	148,51	160,00	35,28	23,76		set/10	121,77	127,00	28,95	23,77
	dez/10	152,19	165,00	36,37	23,90		dez/10	126,68	133,00	30,12	23,77
	mar/11	154,81	166,00	37,68	24,34		mar/11	130,16	136,00	31,28	24,03
	jun/11	157,19	168,50	38,64	24,58		jun/11	131,782	138,00	31,85	24,17
	set/11	157,58	171,00	40,44	25,67		set/11	134,79	142,00	35,52	26,35
	nov/11	159,89	173,00	42,08	26,31		nov/11	137,74	145,50	36,40	26,42

Na tabela 5.8 observa-se que, de modo geral, os tratamentos que foram irrigados com esgoto apresentaram desenvolvimento maior que os demais, pois os valores de DAP foram sempre superiores, o que comprova a qualidade fertilizante do esgoto no crescimento das plantas e, além disso, que o tratamento 1 (irrigado com água e que não recebeu adubação) apresentou desenvolvimento inferior ao tratamento 8 (não irrigado), conforme já evidenciado pelo trabalho de Veronez (2009).

Verifica-se também, que o tratamento T7 apresentou maior desenvolvimento e de maneira mais uniforme, provavelmente beneficiado pelo maior disponibilidade dos nutrientes presentes no esgoto.

Na primeira etapa da pesquisa para análise de variância, aplicaram-se dois testes de hipóteses: primeiramente, o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar se os dados representavam amostras com distribuição gaussiana (distribuição normal) e, posteriormente, o teste Bartlett, no intuito de analisar se os resultados apresentavam amostras de populações com iguais desvios padrões. De acordo com os resultados do primeiro teste, alguns tratamentos não apresentavam distribuição normal (T2, T4, T6 e T8) e em relação ao teste de Bartlett, observou-se que a diferença entre os diferentes tratamentos era significativa. Portanto, optou-se pela utilização do teste Kruskal-Wallis (teste não-paramétrico), em nível de significância de 5% ($p < 0,05$). (VERONEZ, 2009). Nesta etapa da pesquisa continuou-se a utilizar-se o teste de Kruskal-Wallis

Na tabela 5.9 são apresentados os resultados do teste de variância dos tratamentos, através do método de Kruskal-Wallis com nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Tabela 5.9 – Teste de Variância pelo método Kruskal-Wallis (5%)

Comparação entre Tratamentos	ago/09	out/09	dez/09	mar/10	jun/10	set/10	dez/10	mar/11	jun/11	set/11	nov/11
	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p
T1 e T2	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns
T1 e T3	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
T1 e T4	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
T1 e T5	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
T1 e T6	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns
T1 e T7	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
T1 e T8	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T2 e T3	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T2 e T4	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T2 e T5	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T2 e T6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T2 e T7	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns	ns	ns	ns
T2 e T8	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T3 e T4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T3 e T5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T3 e T6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T3 e T7	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T3 e T8	0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns	ns
T4 e T5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T4 e T6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T4 e T7	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T4 e T8	0,05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns
T5 e T6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T5 e T7	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T5 e T8	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns	ns
T6 e T7	< 0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T6 e T8	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	ns	ns	ns	ns
T7 e T8	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

Obs: p < 0.05 (diferença significativa); ns – (diferença não significativa)

A Tabela 5.9, apresenta para os tratamentos T1 e T2 a seguinte situação: a produtividade do tratamento T2 tornou-se mais significativa em comparação ao tratamento 1, com exceção do mês de novembro/11, sendo que ambos receberam quantidades de água semelhantes, porém o tratamento T2 recebeu adubação.

Na comparação dos tratamentos irrigados com água (T1 e T2) com o tratamento que não recebeu nenhum tipo de irrigação artificial (T8), verifica-se que a diferença entre eles não é significativa, dessa forma, a irrigação da cultura de eucalipto com água natural mostrou ser desnecessária, supõe-se que isso pode ser justificado pelo alto índice pluviométrico do local da pesquisa.

Todos os tratamentos irrigados com esgoto apresentaram maior desenvolvimento das plantas em relação ao tratamento 1 (irrigado com água e sem adubação), com exceção do T6 no mês de novembro/11.

Os tratamentos irrigados com esgoto apresentaram, até certa etapa da pesquisa, desenvolvimento significativo, quando comparados com T2 (irrigado com água e com adubação). A partir de certo período tal fato deixou de ocorrer, sendo:

- o tratamento T3 a partir de setembro/2010;
- o tratamento T4 e T5 a partir de março/2010;
- o tratamento T7 a partir de março/2011.

Na comparação do tratamento T2, irrigado com água e adubado quimicamente, com o tratamento T6, irrigado com esgoto e sem adubação, constata-se que não houve diferença significativa no desenvolvimento das plantas demonstrando que a adubação química pode ser substituída pela irrigação com esgoto. Evidência esta, fortalecida pela comparação de T2 e T8, onde não teve diferença significativa de crescimento, enquanto entre os tratamentos irrigados com esgoto e T8, a diferença foi significativa.

A comparação entre os tratamentos irrigados com efluentes apresentou-se no período estudado da seguinte forma:

- O tratamento T3, que recebeu quantidade de esgoto equivalente a um terço da necessidade hídrica da planta e adubação, teve um bom desenvolvimento e não apresentou diferença significativa com os demais tratamentos irrigados com efluentes;
- O tratamento T4, que recebeu quantidade de efluente equivalente à metade da necessidade hídrica da planta mais adubação, também teve um bom desenvolvimento e não apresentou diferença significativa com os demais tratamentos irrigados com efluentes;
- O tratamento T5, que recebeu quantidade de efluente equivalente à necessidade hídrica da planta e adubação, resultou em um bom crescimento, não apresentando diferença significativa com os demais tratamentos irrigados com efluentes;
- O tratamento T6, que recebeu quantidade de efluente equivalente à necessidade hídrica da planta e não recebeu adubação, apresentou uma diferença não significativa quando comparado com os outros tratamentos irrigados com esgoto;
- O tratamento T7, que recebeu a maior quantidade de efluentes e conseqüentemente de nutrientes, apresentou uma diferença não significativa quando comparado com os outros tratamentos irrigados com efluentes a partir de agosto/2009, indicando, possivelmente, que no estágio inicial as quantidades aplicadas influenciam no desenvolvimento da planta.

Entre os tratamentos irrigados com efluentes, não houve diferença significativa de desenvolvimento pelo teste de variância, mas observando-se o valor médio do DAP, constata-se que o tratamento T7, que recebeu irrigação com esgoto em maior quantidade, apresenta o maior resultado, embora com diferença aparentemente pouco superior.

Nota-se com base no exposto acima que todos os tratamentos irrigados com efluentes suprimam as necessidades nutricionais das plantas, inclusive os irrigados com sub dosagens de efluentes, nas condições da pesquisa.

5.4 Análise dos Percolados dos Coletores de Drenagem Livre

O monitoramento dos líquidos percolados foram realizados em 6 coletas de amostras. Estas coletas ocorreram nos meses de março/2010, Julho/2010, dezembro/2010, março/2011, Julho/2011 e Dezembro/2011.

As coletas ocorreram nos coletores de 0,30m, 0,60m e 0,90m de profundidade totalizando 96 amostras por cada mês citado acima. Houve situações em que não havia líquido percolado no coletor ou não houve volume suficiente de amostra para realização do ensaio. Neste último caso foram analisados alguns parâmetros.

As tabelas subsequentes apresentam os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, determinados nos percolados retirados dos coletores de drenagem livre, instalados na linha central de cada parcela, nas profundidades de 0,30, 0,60 e 0,90 m, durante as 6 coletas realizadas para monitorar o percolado referente ao período de Agosto/2009 a Dezembro/2011.

5.4.1 DBO e DQO

Em relação a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) a ETE City Petrópolis apresentou uma eficiência de remoção média de 78% em relação ao esgoto bruto, com uma média DBO remanescente de aproximadamente $143,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$.

A tabela 5.10 apresenta os resultados de DBO coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento, sendo uma amostra de cada profundidade.

A eficiência de remoção média de DBO dos tratamentos irrigados considerando todos os resultados das coletas realizadas foi de 95% e bastante uniforme, tendo a menor (95%) ocorrido nos tratamentos T4 a T7 e a maior (96%) ocorrido no tratamento T3.

Tabela 5.10 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ($\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$) das amostras coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento

Tratamento	Prof. Coletores (m)	1ª Coleta (Mar/10)	2ª Coleta (Jul/10)	3ª Coleta (Dez/10)	4ª Coleta (Mar/11)	5ª Coleta (Jul/11)	6ª Coleta (Dez/11)
T1	0,30	8,0	4,0	<4,0	5,0	<4,0	<4,0
	0,60	<4,0	*	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
	0,90	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	*	<4,0
T2	0,30	6,0	*	9,0	5,0	*	<4,0
	0,60	<4,0	*	<4,0	7,0	<4,0	<4,0
	0,90	13,0	*	4,0	4,0	*	<4,0
T3	0,30	<4,0	<4,0	4,0	5,0	<4,0	<4,0
	0,60	8,0	*	6,0	<4,0	*	24
	0,90	8,0	*	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
T4	0,30	<4,0	<4,0	4,0	16,0	4,0	<4,0
	0,60	<4,0	12,0	<4,0	5,0	*	28
	0,90	<4,0	5,0	*	4,0	<4,0	<4,0
T5	0,30	<4,0	*	<4,0	6,0	*	*
	0,60	4,0	*	<4,0	5,0	7,0	26,0
	0,90	<4,0	17	4,0	6,0	*	<4,0
T6	0,30	4,0	*	<4,0	4,0	<4,0	18,0
	0,60	4,0	14,0	4,0	31,0	<4,0	<4,0
	0,90	<4,0	*	<4,0	<4,0	6,0	<4,0
T7	0,30	5,0	9,0	12,0	4,0	5,0	<4,0
	0,60	4,0	*	<4,0	17,0	*	<4,0
	0,90	*	*	*	*	*	*
T8	0,30	4,0	*	<4,0	<4,0	*	<4,0
	0,60	<4,0	*	<4,0	4,0	*	*
	0,90	<4,0	*	*	*	*	*

(*) – Não havia líquido percolado no coletor ou não houve volume suficiente de amostra para realização do ensaio.

Observa-se que há uma boa eficiência do sistema solo-planta na degradação de DBO, pois 50% das amostras dos percolados de tratamentos irrigados com esgoto apresentaram valores inferiores a $4,0 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$, que representa uma eficiência de remoção de 97% em relação ao efluente aplicado. Logo, a eficiência do sistema pode ser mais elevada, considerando que o valor de $4,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ é o LQ (Limite de Quantificação) praticado pelo laboratório da SABESP de Franca.

O maior valor de DBO, $31,0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, ocorreu na quarta coleta no tratamento 6. Mesmo assim, considerando esse valor mais elevado, verifica-se uma eficiência de remoção de 78%.

O tratamento T7, que foi irrigado com a maior lâmina de esgoto, apresentou na quarta coleta realizada um valor de DBO de $17,0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Considerando este valor, ainda sim, obteve-se uma eficiência de 88% de remoção em relação à concentração do esgoto aplicado. Não foi possível identificar nenhuma distinção considerável quanto às diferenças de concentração nas diferentes profundidades dos coletores.

A ETE City Petrópolis apresentou uma eficiência de remoção de DQO média de 63%, com uma DQO média remanescente de aproximadamente $491,0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$.

A tabela 5.11 apresenta os resultados de DQO (Demanda Química de Oxigênio) coletados nos drenos em 6 coletas de monitoramento em todos os tratamentos, sendo uma amostra de cada profundidade.

A eficiência de remoção média de DQO dos tratamentos irrigados considerando todos os resultados das coletas realizadas foi de 93%, tendo a menor (92%) ocorrido no tratamento T6 e a maior (94%) ocorrido no tratamento T3.

O maior valor de DQO, $127,0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, ocorreu na quarta coleta no tratamento 6. Mesmo assim, considerando esse valor mais elevado, verifica-se uma eficiência de remoção de 74%.

O tratamento T7, que foi irrigado com a maior lâmina de esgoto, apresentou na quarta coleta realizada um valor de DQO de $59,0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Considerando este valor, a exemplo do que ocorreu com a DBO, obteve-se uma eficiência de 88% de remoção em relação à concentração do esgoto aplicado. Também não foi possível identificar nenhuma distinção considerável quanto às diferenças de concentração nas diferentes profundidades dos coletores.

Tabela 5.11 - Demanda química de oxigênio ($\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$) das amostras coletadas nos drenos em seis coletas de monitoramento

Tratamento	Prof. Coletores (m)	1ª Coleta (Mar/10)	2ª Coleta (Jul/10)	3ª Coleta (Dez/10)	4ª Coleta (Mar/11)	5ª Coleta (Jul/11)	6ª Coleta (Dez/11)
T1	0,30	29,6	26,7	<10,0	22,0	19,2	29,0
	0,60	<10,0	*	<10,0	<10,0	10,3	17,0
	0,90	<10,0	<10,0	24,0	13,0	*	13,0
T2	0,30	18,3	*	39,0	25,0	*	29,0
	0,60	<10,0	*	28,0	23,9	13,3	32,0
	0,90	53	*	25,8	14,3	*	32,0
T3	0,30	35,5	20,9	20,0	22,0	32,2	72
	0,60	28,0	*	34,2	14,0	*	90
	0,90	28,0	*	10,1	27,0	10,2	28,0
T4	0,30	10,4	12,7	35,0	55	30,2	40,0
	0,60	<10,0	54	30,0	20,0	*	113
	0,90	<10,0	34,4	*	20,0	15,6	35,0
T5	0,30	<10,0	*	13,7	36,0	*	*
	0,60	16,0	*	27,0	28,0	31,7	93,0
	0,90	108	76	40,0	32,0	*	27,0
T6	0,30	19,3	*	26,4	20,4	14,5	84
	0,60	18,0	106	33,6	127	35,0	50,0
	0,90	<10,0	*	18,1	<10,0	35,1	38,0
T7	0,30	24,4	44	64	15,7	29,6	21,0
	0,60	16,0	*	16,9	59	*	36,0
	0,90	*	*	*	*	*	*
T8	0,30	16,2	*	13,2	<10,0	*	15,0
	0,60	<10,0	*	12,7	17,3	*	*
	0,90	<10,0	*	*	*	*	*

(*) – Não havia líquido percolado no coletor ou não houve volume suficiente de amostra para realização do ensaio.

Diante dos resultados de DBO e DQO obtidos no experimento no período de agosto/2010 a novembro/2011 nota-se que o sistema solo-planta apresentou-se extremamente eficiente na remoção da matéria orgânica presente no efluente aplicado. Embora um pouco menor em relação à primeira etapa da pesquisa realizada por Veronez (2009), onde as eficiências de remoção tanto de DBO, quanto de DQO foram de 98%, as eficiências de remoção de DBO (95%) e de DQO (93%) continuaram bastante eficientes. Os resultados demonstraram ainda, em relação ao experimento desenvolvido em Limeira-SP, onde se aplicou esgoto da indústria cítrica na cultura de eucalipto por meio de sulcos de infiltração, nível de eficiência de remoção superior para DBO e igual para DQO. Nessa pesquisa observou-se uma eficiência na remoção de

matéria orgânica de 77 % de DQO e 95 % de DBO, porém a 1,50 m de profundidade (CARRARO, 1995).

5.4.2 *Escherichia coli* (*E. coli*)

A tabela 5.13 apresenta os resultados de amostras para análise de *E. coli* coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento em todos os tratamentos, sendo uma amostra de cada profundidade. A bactéria *E. coli* é um indicador de poluição fecal.

Observa-se na Tabela 5.13 que os resultados de *E.coli* nos tratamentos irrigados com esgoto apresentaram-se mais elevados que os tratamentos irrigados com água. Na 5ª coleta a densidade de *E. coli* foi mais elevada tanto nos tratamentos irrigados com água quanto nos tratamentos que receberam esgoto, sendo os maiores valores encontrados 752 NMP/100mL e >24196 NMP/100mL, embora este último resultado não seja conclusivo. Isso pode ser justificado devido à menor precipitação natural ocorrida no período, que proporcionou menor diluição nos coletores. Não foi possível identificar, entre os resultados, uma distinção no que tange as diferentes profundidades dos coletores.

Quanto à eficiência do sistema solo-planta na remoção de *E. coli*, verifica-se que nos tratamentos irrigados com esgoto ocorreu redução mínima de 3,28 unidades log (logNMP/100mL) na 5ª coleta no tratamento T5 e redução máxima de 6,16 unidades log (logNMP/100mL) em pelo menos uma coleta de todos os tratamentos, quando comparado com a densidade de *E. coli* presentes no esgoto aplicado. Não foi considerado o valor >24196 NMP/100mL obtido na 5ª coleta no tratamento T6, pois o mesmo não foi conclusivo.

Na primeira etapa de pesquisa, Veronez (2009), constatou uma redução mínima de 2,83 unidades log (logNMP/100mL) na 3ª campanha no tratamento T5 e redução máxima de 6,46 unidades log (logNMP/100mL) em pelo menos uma campanha de

todos os tratamentos, quando comparado com a densidade de *E. coli* presentes no esgoto aplicado.

Verifica-se ainda, que 42% dos resultados dos tratamentos irrigados com esgotos apresentaram densidades inferiores a 1 NMP/100 mL, sendo este o valor do LDM (limite de detecção do método) do laboratório da SABESP de Franca e significa ausência de *E. coli* em 100mL de amostra.

Tabela 5.13 - Densidade de *E. Coli* (NMP/100mL) das amostras coletadas nos drenos em seis coletas de monitoramento

Tratamento	Prof. Coletores (m)	1ª Coleta (Mar/10)	2ª Coleta (Jul/10)	3ª Coleta (Dez/10)	4ª Coleta (Mar/11)	5ª Coleta (Jul/11)	6ª Coleta (Dez/11)
T1	0,30	24	<1	**	<1	108	<1
	0,60	<1	*	**	1	10	200
	0,90	1	5	**	26	*	<1
T2	0,30	1	<1	**	<1	1	<1
	0,60	<1	*	**	20	2	<1
	0,90	11	*	**	11	<10	980
T3	0,30	3	3	**	3	313	<1
	0,60	9	*	**	25	*	<1
	0,90	6	*	**	313	727	<1
T4	0,30	<1	<1	**	184	657	<1
	0,60	<1	20	**	411	373	<1
	0,90	15	<1	**	20	135	26
T5	0,30	<1	*	**	4	*	*
	0,60	5	*	**	<10	752	33
	0,90	<1	6	**	1	<1	<1
T6	0,30	<10	*	**	<1	<1	22
	0,60	<1	38	**	<1	>24196***	<1
	0,90	14	*	**	517	96	<1
T7	0,30	<1	20	**	<1	1	<1
	0,60	<1	*	**	<1	*	<1
	0,90	*	*	**	*	*	*
T8	0,30	3	*	**	24	108	2
	0,60	<1	*	**	4	*	*
	0,90	<1	*	**	36	*	*

(*) - Não havia líquido percolado no coletor ou não houve volume suficiente de amostra para realização do ensaio.

(**) – Ensaio não realizado.

(***) – Resultado de ensaio não conclusivo e, portanto, não considerado.

5.4.3 Nitrato

A Portaria nº 518/2004 e a Portaria 2914/2011 (substituiu a Portaria 518 a partir de dezembro/2011) do Ministério da Saúde que definem os parâmetros de potabilidade da água e a Resolução CONAMA nº 396 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas estabelecem que o valor máximo de Nitrato na água é 10 mgNO₃-N.L⁻¹.

A tabela 5.14 apresenta os resultados de amostras para análise de Nitratos coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento em todos os tratamentos em todas as profundidades e repetições em que havia líquido percolado no coletor.

Os tratamentos irrigados com água, apresentaram concentração média de nitrato que variou de $<1,00$ a $3,00 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$ nos coletores, sendo que 91% dos lixiviados apresentaram valores inferiores $1,00 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, que representa o LQ (Limite de Quantificação) praticado pelo laboratório da SABESP de Franca. Em relação aos resultados dos percolados do tratamento T8 (não irrigado), verifica-se que os valores situaram-se entre $1,00$ a $1,56 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, sendo que 90% dos resultados apresentaram valores inferiores ao LQ.

Os resultados médios de Nitrato dos lixiviados dos tratamentos irrigados com esgotos variaram de $1,00$ a $54,00 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, sendo que o maior valor pontual, $88,8 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, ocorreu na 6ª coleta no tratamento 4.

Enquanto o tratamento T3, que recebeu um terço da necessidade hídrica da planta em esgoto, apresentou 6,3% dos resultados médios de Nitrato $>10 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, o tratamento T4, que recebeu metade da necessidade hídrica da planta em esgoto, apresentou 61% dos resultados médios de nitrato $>10 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$.

Na primeira etapa de pesquisa, Veronez (2009) deduziu que a adubação proporciona um incremento na lixiviação do nitrato, pois no tratamento T5, coletor de $0,90 \text{ m}$ de profundidade, uma maior porcentagem de nitrato ultrapassou a $10 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$ ao comparar os resultados dos tratamentos T5 e T6, que receberam a necessidade hídrica da planta em esgoto, sendo que o primeiro foi adubado e o segundo não. Nesta etapa da pesquisa, não se pode inferir o mesmo, pois os tratamentos T5 e T6, apresentaram 3 (20%) e 5 (31%) resultados médios $>10 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, respectivamente, considerando ainda que adubação foi realizada no plantio e como aplicação de cobertura após 6 meses e um ano em relação ao plantio dos eucaliptos.

O tratamento T7, que recebeu 1,5 da necessidade hídrica em esgoto, na profundidade 0,60m, apresentou 80% dos resultados médios de Nitrato superiores a 10 mgNO₃-N.L⁻¹.

Em um experimento realizado em Limeira-SP onde se aplicou efluente de lagoa anaeróbia por meio de sulcos de infiltração, 50 % dos resultados no perfil do solo (na 2^a safra de milho) ultrapassaram o limite de 10 mgNO₃-N.L⁻¹ de Nitrato (SILVA, 2003).

Observa-se na tabela 5.14 que a irrigação com metade ou mais da necessidade hídrica da planta pode ocasionar a lixiviação de nitrato, e conseqüentemente pode comprometer a qualidade da água subterrânea, especialmente em solos com as características semelhantes às do experimento. Dessa forma, o tratamento T3, que recebeu menor quantidade de efluente, apresentou menor risco de contaminação da água subterrânea, enquanto os tratamentos T4 a T7 apresentaram valores elevados para nitrato. Veronez (2009), observou na primeira etapa de pesquisa, que as plantas, embora tivessem maior desenvolvimento nos tratamentos T5, T6 e T7, não absorveram o nitrato tão bem quanto nos tratamentos onde se aplicaram subdosagens de efluente, ou seja nos tratamentos T3 e T4, diferindo, nesta etapa de pesquisa, onde o tratamento T4 também apresentou valores elevados de Nitrato.

Tabela 5.14 - Concentração média e amplitude dos valores de nitrato (mgNO₃-NL⁻¹) coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento

Tratamento	Prof. coletores (m)	1ª coleta (Mar/2010)			2ª coleta (Jul/2010)			3ª coleta (Dez/2010)			4ª coleta (Mar/2011)			5ª coleta (Jul/2011)			6ª coleta (Dez/2011)		
		Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média
T1	0,30	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
	0,60	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
	0,90	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
T2	0,30	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
	0,60	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
	0,90	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	3,91	<1	3,00	1,62	<1	1,21	3,20	<1	2,10	<1,00	<1,00	<1,00
T3	0,30	3,20	<1,00	1,55	2,21	2,21	2,21	2,87	<1,00	1,84	1,01	<1,00	<1,00	3,62	<1,00	2,04	1,60	<1,00	1,20
	0,60	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	1,67	<1,00	1,33	<1,00	<1,00	<1,00	3,10	3,10	3,10	<1,00	<1,00	<1,00
	0,90	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	2,71	<1,00	2,00	1,47	<1,00	1,16	4,40	4,40	4,40	34,8	34,8	34,8
T4	0,30	13,8	3,28	10,3	11,1	7,37	9,23	26,8	<1	12,0	30,0	<1,00	10,7	2,00	<1,00	1,50	52,5	19,1	35,8
	0,60	16,8	7,79	11,3	11,4	11,4	11,4	55,4	2,49	28,9	<1,00	<1,00	<1,00	2,00	<1,00	1,50	4,39	<1,00	2,70
	0,90	29,2	8,62	18,9	22,7	22,7	22,7	52,8	3,29	28,0	<1,00	<1,00	<1,00	4,40	4,40	4,40	88,8	<1,00	44,9
T5	0,30	22,9	4,74	13,8	*	*	*	6,29	6,29	6,29	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	*	*	*
	0,60	20,0	<1	8,38	3,70	3,70	3,70	10,3	<1,00	4,20	<1,00	<1,00	<1,00	25,3	2,52	6,69	34,6	<1,00	12,46
	0,90	21,2	1,31	12,2	1,42	1,42	1,42	5,25	<1,00	3,12	2,43	<1,00	1,62	25,0	<1,00	9,41	<1,00	<1,00	<1,00
T6	0,30	19,6	13,3	16,4	*	*	*	13,0	2,87	7,94	5,32	1,58	3,45	3,93	3,93	3,93	13,5	<1,00	7,20
	0,60	20,3	<1,00	9,19	15,9	15,9	15,9	17,3	<1,00	9,15	18,5	<1,00	11,5	8,45	8,45	8,45	<1,00	<1,00	<1,00
	0,90	12,6	1,03	5,00	*	*	*	6,85	5,77	6,31	<1,00	<1,00	<1,00	19,5	19,5	19,5	28,7	28,7	28,7
T7	0,30	33,5	28,8	31,2	24,1	1,71	12,9	*	*	*	5,02	3,11	4,06	9,77	9,77	9,77	29,6	29,6	29,6
	0,60	20,8	1,92	11,4	*	*	*	34,8	2,46	23,6	81,0	<1,00	41,0	54,6	54,6	54,6	78,3	17,5	47,9
	0,90	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T8	0,30	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,56	1,56	1,56
	0,60	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	*	*	*
	0,90	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	*	*	*	<1,00	<1,00	<1,00	*	*	*	*	*	*

(*) – Não havia líquido percolado no coletor ou não houve volume suficiente de amostra para realização do ensaio.

As análises realizadas nesta pesquisa se referem a amostras coletadas até 0,90 m de profundidade, não se podendo chegar a conclusões sobre o que viria a acontecer com a água subterrânea. Os resultados de Nitrato obtidos no mês de janeiro/2012 em pesquisa paralela que está sendo desenvolvida no experimento apresentam-se bem abaixo do limite de potabilidade nos poços de monitoramento.

5.4.4 Metais

A presença de metais pesados que são potencialmente tóxicos causa grandes preocupações quanto à proteção de aquíferos utilizados para abastecimento público, pois suas concentrações limitantes são muito restritivas (CINTRA, 2008)

Devido às características dos esgotos tratados na ETE City Petrópolis (exclusivamente doméstico) e da represa utilizados na irrigação, alguns metais potencialmente tóxicos como Cádmiio, Cobre, Cromo e Zinco monitorados nos coletores drenagem livre, a grande maioria teve resultados abaixo do LQ (Limite de Quantificação) praticado pelo laboratório da SABESP de Franca, os quais são:

- LQ de Cadmio = $0,0010 \text{ mg.L}^{-1}$;
- LQ de Cobre = $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$;
- LQ de Cromo = $0,010 \text{ mg.L}^{-1}$;
- LQ de Zinco = $0,010 \text{ mg.L}^{-1}$.

As exceções foram:

- Cadmio com um resultado igual a $0,0019 \text{ mg.L}^{-1}$ no tratamento T6;
- Cobre com um resultado igual a $0,072 \text{ mg.L}^{-1}$ no tratamento T3;
- Zinco com resultados que chegaram até $0,863 \text{ mg.L}^{-1}$.

Todos estes resultados estão abaixo dos valores máximos permitidos (VMP) para água potável, estabelecidos pelas Portarias nº 518/2004 e 2914/2011 do Ministério da Saúde, os quais são:

- Cadmio = 0,005 mg.L⁻¹;
- Cobre = 2 mg.L⁻¹;
- Zinco = 5 mg.L⁻¹;
- Cromo = 0,05 mg.L⁻¹.

A baixa concentração de metais pesados nos percolados, com exceção de Chumbo total, que apresentou altos valores devido a um passivo de contaminação (VERONEZ, 2009) e que será discutido no item 5.4.4.2, não influenciou negativamente na pesquisa, pois além das características do efluente aplicado, a alta capacidade do solo na retenção desses metais também contribuiu para isso, devido à baixa solubilidade e alta adsorção específica.

Os resultados de Sódio total também serão discutidos no subitem a seguir.

5.4.4.1 Sódio Total

A tabela 5.15 apresenta os resultados de amostras para análise de Sódio total coletadas nos drenos em 5 coletas de monitoramento em todos os tratamentos em todas as profundidades e repetições em que havia líquido percolado no coletor.

Nos tratamentos T1 e T2, irrigados com água, 96% dos resultados médios de Sódio total obtidos ficaram abaixo de 0,50 mg.L⁻¹ que é o LQ (Limite de Quantificação) praticado pelo laboratório de SABESP de Franca, sendo que um resultado médio do tratamento T1 na profundidade 0,90m na primeira coleta apresentou resultado de 3,45 mg.L⁻¹. O tratamento T8, não irrigado, apresentou todos os resultados de Sódio total inferiores a 0,50 mg.L⁻¹.

A concentração média de Sódio total nos tratamentos irrigados com efluentes variou de 0,96 mg.L⁻¹ (tratamento T3) a 167,3 mg L⁻¹ (tratamento T4). Pode-se observar

que em alguns casos o valor de Sódio total nos percolados suplanta a concentração média de Sódio total no efluente aplicado, que é de 70,70 mg.L⁻¹ (pouco acima do valor recomendado pela CETESB, 2006 que é 69 mg.L⁻¹). Tal ocorrência pode ser justificada pela percolação de parte dos sais retidos no solo durante o processo de irrigação continuada que vem ocorrendo durante a pesquisa. Na primeira etapa da pesquisa conduzida por Veronez (2009), observou-se a mesma situação onde em alguns casos o valor de sódio nos percolados suplanta a concentração média de sódio no efluente aplicado, que é de 79,80 mg L⁻¹.

Segundo Rezende et al (2009), em uma pesquisa desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa, utilizando efluente tratado de fabricação de celulose branqueada, na irrigação de eucalipto, os valores da concentração de sódio nos lixiviados chegaram a suplantar a concentração do efluente, o que foi justificado pela lixiviação de parte de sais anteriormente retida no solo.

As Portarias nº 518/2004 e 2914/11 do Ministério da Saúde que definem os parâmetros de potabilidade da água e a Resolução CONAMA nº 396 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, estabelecem o valor máximo permitido (VMP) de 200 mg L⁻¹ de Sódio total para consumo humano. Nenhum dos resultados apresentados na tabela 5.8 suplantou este VMP.

Tabela 5.15 - Concentração média e amplitude dos valores de sódio (mg L⁻¹) coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento

Tratamento	Prof. coletor (m)	1ª coleta (Mar/2010)			2ª coleta (Jul/2010)			3ª coleta (Dez/2010)			4ª coleta (Mar/2011)			5ª coleta (Jul/2011)			6ª coleta (Dez/2011)		
		Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média
T1	0,30	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1,44	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	0,60	<0,50	<0,50	<0,50	*	*	*	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	0,90	9,35	<0,50	3,45	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
T2	0,30	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	0,60	<0,50	<0,50	<0,50	*	*	*	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	0,90	<0,50	<0,50	<0,50	*	*	*	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
T3	0,30	7,08	<0,50	3,64	*	*	*	8,58	0,77	3,72	1,62	<0,50	0,96	23,95	0,68	8,54	60,10	2,05	26,78
	0,60	15,85	6,39	11,69	*	*	*	9,27	2,26	5,76	2,64	1,35	2,17	48,18	48,18	48,18	39,08	39,08	39,08
	0,90	13,99	4,28	7,84	*	*	*	8,47	3,88	5,60	3,27	2,62	2,97	1,13	1,13	1,13	94,45	94,45	94,45
T4	0,30	49,25	11,84	28,78	39,52	32,57	36,04	66,14	15,43	33,66	83,66	1,60	30,58	34,28	30,03	32,16	148,3	95,34	121,8
	0,60	85,20	29,36	50,15	71,62	71,62	71,62	67,32	14,94	41,13	10,20	4,07	6,45	22,48	7,43	14,96	151,1	34,92	93,00
	0,90	98,21	26,19	62,20	167,3	167,3	167,3	81,14	8,87	45,00	10,90	3,51	7,20	39,87	39,87	39,87	292,6	135,7	214,2
T5	0,30	26,93	18,48	22,70	*	*	*	13,11	13,11	13,11	2,24	2,09	2,16	*	*	*	*	*	*
	0,60	31,99	2,67	13,94	49,57	49,57	49,57	33,63	7,09	17,64	6,38	0,77	3,90	94,52	5,56	40,82	133,1	86,53	103,1
	0,90	28,18	6,46	14,58	70,44	70,44	70,44	34,72	7,37	21,04	16,04	<0,50	6,39	22,38	3,21	12,22	33,02	31,08	32,05
T6	0,30	38,72	23,91	31,31	*	*	*	11,69	10,30	11,00	5,70	0,78	3,19	4,61	4,61	4,61	99,09	88,64	93,86
	0,60	76,60	14,94	39,01	102,6	102,6	102,6	43,30	30,64	36,97	41,87	2,39	20,45	82,48	82,48	82,48	156,1	156,1	156,1
	0,90	48,09	9,67	24,26	*	*	*	10,08	7,17	8,62	1,49	1,49	1,49	63,60	63,60	63,60	140,8	140,8	140,8
T7	0,30	54,05	49,90	51,98	71,65	68,53	70,09	*	*	*	13,26	3,61	8,44	32,85	32,85	32,85	72,51	72,51	72,51
	0,60	36,93	25,23	28,61	*	*	*	61,50	10,15	43,10	112,9	2,72	57,81	119,1	119,1	119,1	146,3	125,0	135,6
	0,90	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T8	0,30	<0,50	<0,50	<0,50	*	*	*	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
	0,60	<0,50	<0,50	<0,50	*	*	*	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	*	*	*	*	*	*
	0,90	<0,50	<0,50	<0,50	*	*	*	*	*	*	<0,50	<0,50	<0,50	*	*	*	*	*	*

(*) – Não havia líquido percolado no coletor ou não houve volume suficiente de amostra para realização do ensaio.

5.4.4.2 Chumbo total

A tabela 5.16 apresenta os resultados de amostras para análise de Chumbo total coletadas nos drenos em 5 coletas de monitoramento em todos os tratamentos em todas as profundidades e repetições em que havia líquido percolado no coletor.

Na caracterização dos líquidos aplicados na irrigação, a concentração média de Chumbo total foi inferior ao LQ praticado pelo laboratório, ou seja, $<0,01 \text{ mg L}^{-1}$ no efluente proveniente da ETE City Petrópolis e na água proveniente da represa uma concentração média inferior ao LQ praticado pelo laboratório, ou seja, $<0,0030 \text{ mg L}^{-1}$.

Os tratamentos T1 e T2, irrigados com água, apresentaram resultados médios de Chumbo total que variaram de $0,0065$ a $0,1058 \text{ mg L}^{-1}$ e nos coletores do tratamento T8, não irrigado, a concentração média foi de $0,0042$ a $0,0640 \text{ mg L}^{-1}$. Estes resultados indicam que já havia Chumbo no solo onde foi desenvolvida esta etapa da pesquisa.

As concentrações de Chumbo total nos coletores ultrapassaram, na maioria dos ensaios realizados, o padrão de potabilidade estabelecido pelas Portarias 518/04 e 2914/11 do Ministério da Saúde. Conforme Veronez (2009), a justificativa pode estar no fato da área do experimento ser próxima ao antigo local de disposição de resíduos sólidos da cidade de Franca (“lixão”). Segundo informações, de pessoas ligadas ao colégio agrícola, no passado, existiam no local do experimento resquícios de resíduos, inclusive pilhas.

A exemplo do que ocorreu com o Nitrato, as análises realizadas nesta pesquisa se referem a amostras coletadas até $0,90 \text{ m}$ de profundidade, não se podendo chegar a conclusões sobre o que viria a acontecer com a água subterrânea. Os resultados de Chumbo total na água subterrânea obtidos até o momento, em pesquisa paralela que está sendo desenvolvida no experimento, apresentam-se abaixo do limite de potabilidade.

Tabela 5.16 - Concentração média e amplitude dos valores de chumbo (mg L⁻¹) coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento

Tratamento	Prof. coletor (m)	1ª coleta (Mar/2010)			2ª coleta (Jul/2010)			3ª coleta (Dez/2010)			4ª coleta (Mar/2011)			5ª coleta (Jul/2011)			6ª coleta (Dez/2011)		
		Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média
T1	0,30	0,0330	0,0090	0,0208	0,0130	<0,0030	0,0080	0,0234	<0,0030	0,0168	0,0422	0,0078	0,0215	0,0157	0,0157	0,0157	0,0269	0,0062	0,0166
	0,60	0,0370	0,0140	0,0410	*	*	*	0,0442	<0,0030	0,0275	0,0856	0,0123	0,0392	0,0680	0,0617	0,0645	0,1186	0,0111	0,0635
	0,90	0,0480	0,0090	0,0340	0,0183	0,0183	0,0183	0,1326	0,0324	0,0825	0,1435	0,0410	0,0774	0,1058	0,1058	0,1058	0,1014	0,1014	0,1014
T2	0,30	0,0310	0,0230	0,0270	0,0494	0,0494	0,0494	<0,0030	0,0100	0,0065	0,0156	0,0156	0,0156	0,0370	0,0370	0,0370	0,0073	0,0073	0,0073
	0,60	0,0430	0,0430	0,0430	*	*	*	0,0448	0,0448	0,0448	0,0498	0,0498	0,0498	0,0788	0,0788	0,0788	0,0670	0,0670	0,0670
	0,90	0,0450	0,0080	0,0310	*	*	*	0,0609	0,0097	0,0338	0,0584	0,0322	0,0487	0,1169	0,0226	0,0705	0,0933	<0,0030	0,0480
T3	0,30	0,1180	0,0360	0,0628	*	*	*	0,0388	<0,0030	0,0160	0,0830	0,0113	0,0395	0,0564	0,0143	0,0310	0,1294	<0,0030	0,0491
	0,60	0,0730	0,0410	0,0572	*	*	*	0,0157	0,0103	0,0130	0,1030	0,0364	0,0600	0,0604	0,0604	0,0604	0,0277	0,0277	0,0277
	0,90	0,0490	0,0190	0,0363	*	*	*	0,0682	0,0226	0,0387	0,1277	0,0330	0,0696	0,0605	0,0605	0,0605	0,0446	0,0446	0,0446
T4	0,30	0,0990	0,0250	0,0607	0,0055	<0,0030	0,0042	0,0633	0,0090	0,0305	0,0789	0,0339	0,0614	0,0609	0,0187	0,0398	0,0289	0,0084	0,0564
	0,60	0,0570	0,0080	0,0343	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,0556	0,0350	0,0453	0,0601	0,0499	0,0549	0,0500	0,0375	0,0438	0,0656	0,0305	0,0480
	0,90	0,0210	0,0170	0,0190	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,0289	<0,0030	0,0160	0,0786	0,0066	0,0723	0,0162	0,0162	0,0162	0,0089	0,0071	0,0080
T5	0,30	0,0610	0,0430	0,0520	*	*	*	0,0269	0,0269	0,0269	0,0328	0,0250	0,0289	*	*	*	*	*	*
	0,60	0,0470	0,0200	0,0280	0,0108	0,0108	0,0108	0,0499	0,0074	0,0236	0,0812	0,0160	0,0437	0,0901	0,0180	0,0554	0,0827	<0,0030	0,0289
	0,90	0,0510	0,0110	0,0260	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,0353	0,0060	0,0206	0,0633	0,0245	0,0394	0,0581	0,1663	0,0954	0,0281	0,0281	0,0281
T6	0,30	0,0390	0,0190	0,0290	*	*	*	0,0243	<0,0030	0,0136	0,0188	0,0147	0,0168	0,0259	0,0259	0,0259	0,0129	<0,0030	0,0078
	0,60	0,0320	0,0150	0,0253	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,0210	<0,0030	0,0120	0,0306	<0,0030	0,0208	0,0324	0,0324	0,0324	0,0280	0,0280	0,0280
	0,90	0,0140	0,0120	0,0127	*	*	*	0,0041	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,0161	0,0161	0,0161	0,0036	0,0036	0,0036
T7	0,30	0,0470	0,0750	0,0610	0,0661	0,0038	0,0350	*	*	*	0,0854	0,0538	0,0696	0,2173	0,2173	0,2173	0,0555	0,0555	0,0555
	0,60	0,0340	0,0140	0,0243	*	*	*	0,0444	<0,0030	0,0236	0,0863	0,0647	0,0755	0,2643	0,2643	0,2643	0,5213	0,0674	0,2944
	0,90	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T8	0,30	0,0530	0,0210	0,0377	*	*	*	0,0042	0,0042	0,0042	0,0205	0,0145	0,0175	0,0339	0,0339	0,0339	0,0128	0,0128	0,0128
	0,60	0,1340	0,0200	0,0640	*	*	*	0,0784	0,0255	0,0520	0,0857	0,0030	0,0489	*	*	*	*	*	*
	0,90	0,0200	0,0200	0,0200	*	*	*	*	*	*	0,0063	0,0063	0,0063	*	*	*	*	*	*

(*) – Não havia líquido percolado no coletor ou não houve volume suficiente de amostra para realização do ensaio.

5.4.5 Condutividade Elétrica

A tabela 5.17 apresenta os resultados de amostras para análise de Condutividade Elétrica coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento em todos os tratamentos em todas as profundidades e repetições em que havia líquido percolado no coletor.

Os tratamentos T1 e T2, irrigados com água, apresentaram resultados médios de Condutividade Elétrica que variaram de 15,08 a 219 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ e nos coletores do tratamento T8, tratamento não irrigado, os resultados médios variaram de 10,12 a 111,0 $\mu\text{s.cm}^{-1}$. Nos tratamentos irrigados com efluentes, os valores de Condutividade Elétrica variaram de 46,48 a 932,1 $\mu\text{s.cm}^{-1}$.

A Condutividade Elétrica elevada nos lixiviados dos tratamentos irrigados tanto com água quanto com esgoto é devida ao incremento de sais, provenientes do solo e do esgoto, respectivamente.

Não foi possível identificar nenhuma distinção considerável quanto às diferenças de concentração nas diferentes profundidades dos coletores.

Tabela 5.17 - Concentração média e amplitude dos valores de condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$) coletadas nos drenos em 6 coletas de monitoramento.

Tratamento	Prof. coletores (m)	1ª coleta (Mar/2010)			2ª coleta (Jul/2010)			3ª coleta (Dez/2010)			4ª coleta (Mar/2011)			5ª coleta (Jul/2011)			6ª coleta (Dez/2011)		
		Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior	Menor	Média
T1	0,30	57,75	17,80	39,53	32,17	13,53	22,85	43,66	17,88	31,67	25,83	18,74	21,90	15,08	15,08	15,08	19,64	14,11	16,88
	0,60	309,4	43,54	176,5	*	*	*	91,70	21,91	52,68	68,59	22,74	50,00	58,46	12,96	36,26	38,49	20,80	31,72
	0,90	427,7	29,27	219,0	148,0	148,0	148,0	82,45	20,81	51,63	195,7	15,75	97,81	25,50	25,50	25,50	60,80	60,80	60,80
T2	0,30	80,78	38,89	59,84	61,50	61,50	61,50	43,16	26,36	34,76	52,95	52,95	52,95	76,11	76,11	76,11	48,22	48,22	48,22
	0,60	62,81	62,81	62,81	*	*	*	40,84	40,84	40,84	33,79	33,79	33,79	32,45	32,45	32,45	35,52	35,52	35,52
	0,90	135,4	39,12	93,28	*	*	*	117,8	25,79	62,90	118,3	43,81	70,60	126,2	24,64	66,69	36,31	35,28	35,82
T3	0,30	169,4	19,44	78,92	*	*	*	83,89	43,60	69,40	83,05	33,75	52,54	202,2	43,10	111,9	306,7	41,98	168,4
	0,60	309,4	104,2	175,8	*	*	*	138,0	41,15	89,59	127,8	39,47	81,95	530,5	530,5	530,5	330,5	330,5	330,5
	0,90	183,0	158,1	168,3	*	*	*	129,9	89,91	107,6	89,41	62,17	71,99	98,24	98,24	98,24	695,2	695,2	695,2
T4	0,30	450,6	100,4	274,0	404,3	338,3	371,3	639,2	113,4	338,9	678,1	48,09	263,4	311,2	310,7	311,0	1064	637,3	850,8
	0,60	666,9	374,2	471,9	607,9	607,9	607,9	680,0	146,2	413,1	125,1	76,15	96,80	205,4	111,3	158,4	844,0	268,0	556,0
	0,90	1105	348,1	726,4	1548	1548	1548	868,5	153,5	511,0	176,3	104,2	140,3	363,6	363,6	363,6	1544	823,5	1184
T5	0,30	366,2	153,0	259,6	*	*	*	167,4	167,4	167,4	56,19	36,77	46,48	*	*	*	*	*	*
	0,60	405,5	29,96	187,5	437,6	437,6	437,6	304,4	137,6	194,8	103,5	15,36	61,22	603,5	93,63	361,8	896,2	243,0	509,4
	0,90	360,0	105,6	227,0	530,0	530,0	530,0	216,3	100,6	158,4	142,9	55,00	95,06	388,2	56,08	174,6	207,7	207,7	207,7
T6	0,30	410,9	339,1	375,0	*	*	*	201,9	108,7	155,3	115,4	66,62	91,00	85,11	85,11	85,11	645,5	510,7	578,1
	0,60	530,7	190,0	373,2	781,4	781,4	781,4	339,1	268,4	303,8	393,8	82,86	194,0	541,3	541,3	541,3	791,3	791,3	791,3
	0,90	543,6	140,6	287,9	*	*	*	151,3	147,3	149,3	71,81	71,81	71,81	581,9	581,9	581,9	837,8	837,8	837,8
T7	0,30	590,3	569,5	579,9	694,5	491,4	592,9	*	*	*	127,7	116,0	121,8	342,6	342,6	342,6	590,8	590,8	590,8
	0,60	468,0	168,7	345,6	*	*	*	601,1	105,2	430,0	1127	46,5	586,8	932,1	932,1	932,1	1125	592,3	858,5
	0,90	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
T8	0,30	63,88	39,99	53,44	*	*	*	30,71	30,71	30,71	38,21	14,37	26,29	10,12	10,12	10,12	23,98	23,98	23,98
	0,60	186,1	63,81	108,9	*	*	*	62,74	56,98	56,86	71,99	45,38	52,62	*	*	*	*	*	*
	0,90	111,0	111,0	111,0	*	*	*	*	*	*	53,72	53,72	53,72	*	*	*	*	*	*

(*) – Não havia líquido percolado no coletor ou não houve volume suficiente de amostra para realização do ensaio.

5.4.7 pH

Segundo Souza (2004), o pH influencia nas características do solo, pois interfere na disponibilização de nutrientes, solubilidade de elementos tóxicos e na atividade microbiana, podendo, águas de irrigação acentuadamente ácidas ou alcalinas, causar toxicidade às plantas. É desejável que o pH das águas usadas na irrigação se mantenha numa faixa de 6,5 a 8,4 (PAGANINI, 1997). A água da represa e do efluente utilizados na irrigação nesta etapa de pesquisa possuíam pH 7,1 e 7,3, respectivamente.

Nos tratamentos T1 e T2, irrigados com água, os resultados de pH variaram de 4,9 a 7,2 e no tratamento T8, não irrigado, o pH variou de 5,5 a 7,4. O pH nos tratamentos irrigados com efluentes o pH variou de 4,4 (tratamento T5 – necessidade hídrica da planta) a 7,9 (tratamento T4 – metade da necessidade hídrica da planta) no período avaliado, com média aritmética igual a 6,2.

Veronez (2009), na primeira etapa da pesquisa, constatou que o pH nos tratamentos irrigados com água variou de 5,2 a 7,3 e no tratamento não irrigado, o pH variou de 6,6 a 7,3. Nos tratamentos irrigados com efluentes o valor do pH situou-se entre 5,6 e 8,2 com média aritmética igual a 6,9.

Nota-se que os resultados do pH nos lixiviados do experimento aproximaram-se dos valores obtidos no experimento de Limeira-SP, onde se aplicou efluente da indústria cítrica em eucalipto da espécie *grandis*, por meio de sulcos de infiltração, nessa pesquisa, os resultados de pH nos coletores de drenagem Livre mantiveram uma média de 6,40 no coletor de 0,50 m e 6,87 no coletor de 1,50 m de profundidade.

6. CONCLUSÕES

Considerando as características da área do experimento e dos líquidos utilizados na irrigação, o período da pesquisa de Agosto de 2009 a Novembro de 2011, ou seja, 28 a 56 meses após o plantio do eucalipto e os resultados obtidos tanto das medições do DAP das plantas, quanto dos parâmetros ensaiados nos percolados são apresentadas as seguintes conclusões deste trabalho:

- A conclusão de Veronez (2009) na primeira etapa da pesquisa de que o reúso de efluente sanitário, proveniente de lagoa facultativa, na irrigação da cultura de eucalipto é viável tanto no aspecto agrônômico como no sanitário, mostrando ser uma alternativa adequada no pós-tratamento de efluente e devendo ser considerado como uma possibilidade para o atendimento a padrões de lançamento mais restritivos é ratificada nesta etapa da pesquisa;
- Os resultados de DBO e DQO demonstraram que o sistema solo-planta apresentou-se extremamente eficiente na remoção da matéria orgânica presente no efluente aplicado, sendo 95% para DBO e 93% para DQO;
- Ocorreu redução na população de bactérias *E. coli* (indicadora de poluição fecal), destacando-se que 42% dos resultados dos tratamentos irrigados com efluentes apresentaram densidades inferiores a 1 NMP/100 mL (LQ);
- A baixa concentração de metais pesados nos percolados devido às características do efluente aplicado e a alta capacidade do solo na retenção desses metais não interferiram na qualidade do lixiviado e, provavelmente, no desenvolvimento dos eucaliptos;
- O desenvolvimento do DAP do eucalipto foi maior nos tratamentos irrigados com efluente quando comparado aos demais;
- A adubação química, da forma que foi praticada, pode ser substituída pela irrigação com efluente doméstico;
- A irrigação da cultura de eucalipto com água natural mostrou ser desnecessária;
- A irrigação com efluente na proporção de um terço da necessidade hídrica da planta, tratamento T3, apresentou um bom desenvolvimento da planta, suprimindo suas

necessidades nutricionais. Além disso, o percolado apresentou baixo percentual de Nitratos em concentrações superiores a $10\text{mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$, minimizando o risco de contaminação da água subterrânea.

Logo, a irrigação com dosagens adequadas de efluentes, sendo que nas condições da pesquisa, com quantidades abaixo da necessidade hídrica da planta, pode substituir a adubação do ponto de vista do DAP, com baixo risco de contaminação do lençol freático.

7. RECOMENDAÇÕES

Com base nos dados obtidos nessa pesquisa, são apresentadas algumas recomendações para continuidade dos estudos no experimento:

- Continuar o monitoramento frequente da qualidade da água percolada, no intuito de minimizar os riscos de contaminação por meio da percolação de nitrato, chumbo e sódio;
- Realizar a avaliação do poder calorífico da biomassa para promover o corte dos eucaliptos visando sua utilização na produção de energia térmica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Campanha “Água é vida e vida não se desperdiça”**. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/SalaImprensa/aguavida/aguavida.asp>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

ALMASRI, M. N.; KALUARACHCHI, J. J. Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground in agriculture-dominated watersheds. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 295, p. 225-245, 2004.

ASANO, T.; LEVINE, A. D. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. **Water Science & Technology**, v. 33, n. 10-11, p. 1-14, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2011 – ano base 2010**. Brasília, 2011. 130p.

ARAÚJO, H. B. **Avaliação econômica de eucalipto irrigado em diferentes cenários**. 2010. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas Campus de Botucatu, Botucatu, 2010.

BELLINGIERI, P. H. **Avaliação de contaminação em água subterrânea, pela prática de irrigação com efluente desinfetado de lagoa anaeróbia no cultivo de milho**. 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil)-Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

BONTOUX, L. The Regulatory Status of Wastewater Reuse in the European Union. In: ASANO, T. **Wastewater reclamation and reuse**. Lancaster: Technomic Publishing, 1998. p. 1436-1476.

BRASIL. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 mar. 2004. Seção 1, p. 266-270.

BRASIL. Resolução n. 54, de 28 de novembro de 2005. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 mar. 2006. Seção 1, p. 91.

BRASIL. Resolução n. 396, de 03 de abril de 2008. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 abr. 2008. Seção 1, p. 64-68.

BRASIL. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46.

CALDER, I. R.; HALL, R. L; ADLARD, P. G. **Growth and water use of forest plantations**. New York: John Wiley, 1992. 391p.

CARRARO, J. V. **Tratamento de efluente bruto cítrico líquido no solo por meio de sulcos largos de infiltração**. 1995. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil)-Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

CETESB. **Norma Técnica nº 6410 - Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas**. São Paulo, 1988. 32 p.

CETESB. **Instrução técnica nº 31. Aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura**. São Paulo, 2006.

CETESB. **Reúso de água**. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 2 dez. 2010.

CINTRA FILHO, O. A. **Influência na qualidade da água subterrânea pela irrigação com efluente de lagoa anaeróbia em cultura de milho**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil)-Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

CROOK, J. Water reclamation and reuse criteria. In: ASANO, T. **Wastewater reclamation and reuse**. Lancaster: Technomic Publishing, 1998. p. 627-704.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas**. Colombo, 2000. 113p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/circul21.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2010.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FIESP. **Conservação e reúso de água. Manual de orientações para o setor industrial, Volume 1**. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2011.

GHEYI, H. R. et al. **Tratamento e Uso de Águas Residuárias**. Campina Grande: UFPB, 1999. 110p.

GONZÁLEZ, E. R. **Transformação genética de Eucalyptus grandis e do híbrido E. grandis x E. urophylla via Agrobacterium**. 2002. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GRUBER, Y. B. G. **Otimização da lâmina de irrigação na produção de mudas clonais de eucalipto**. 2006. 145 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

HAMILTON, A. J. et al. Position of the Australian horticultural industry with respect to the use of reclaimed water. **Agricultural Water Management**, v. 71, p. 181-209, 2005.

IPT. **Relatório nº 40.672-Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Sapucaí - Mirim/Grande**. Franca, 1999. 133 p.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB, 1997, p. 113 – 133.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. Nova York: McGraw-Hill Higher Education, 2004. 920 p.

NETO, E. D.; SILVA, J. G. F. **Manejo da água no mamoeiro**. Disponível em: <http://www.fundagres.org.br/downloads/pi-mamao/2007_cap_04.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2011.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Aspectos nutricionais e ambientais do eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 17, n. 68, p. 10-17, 1996.

ODENDAAL, P. E.; WESTHUIZEN, J. L. J.; GROBLER, G. J. Wastewater reuse in South Africa. In: ASANO, T. **Wastewater reclamation and reuse**. Lancaster: Technomic Publishing, 1998. p. 757–779

PAGANINI W. S. **Disposição de Esgotos no Solo (escoamento à superfície)**. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232p.

REAMI, L. **Avaliação de produtividade agrícola e de concentrações de metais nos grãos, de cultura de milho irrigada com efluente anaeróbio**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil)- Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

REZENDE, A. A. P.; MATOS, A. T.; SILVA, C. M. **Aplicação da água residuária do processo de fabricação da celulose kraft branqueada na fertirrigação de eucalipto**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-344.pdf>>. Acesso em: 17 jan. de 2012.

RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: proposta de regulamentação do reúso no Brasil**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 177p.

SCANAVACA JUNIOR, L. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e do seu potencial para utilização em serraria.** 2001. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SILVA, R. S. P. **Reúso agrícola do efluente de um filtro anaeróbio utilizando um sistema de irrigação por sulcos.** 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil)-Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SOUZA, S. B. S. **Irrigação por infiltração com efluente de lagoa anaeróbia em solo cultivado com milho (*Zea mays* L.).** 2004. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.** São Paulo, 2011. 208 p.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. H. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 27-43, 2006.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY(USEPA). 1976. **Quality Criteria for Water. A Report of the National Academy of Science-National Academy of Engineering Committee on Water Quality Criteria, EPA-R3-73-033.** Washington, 1973.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Guidelines for Water Reuse.** Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY-USGS. **The water cycle.** Disponível em: <<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

VAN GENUCHTEN, M. T. H. A closed – form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VERONEZ, A. H. **Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento.** 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil)-Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

VIEIRA, D. B. **As Técnicas de Irrigação.** 2. ed. São Paulo: Globo, 1995.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lagoas de Estabilização.** 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2002. 196 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005. 452 p.

WEBER, S.; KHAN, S.; HOLLENDER, J. Human risk assessment of organic contaminants in reclaimed wastewater used for irrigation. **Desalination**, v. 187, n. 1-3, p.53-64, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.** Geneva, 2006. 218p.