Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Irrigação com efluente de esgoto tratado na cultura da laranja: implicações nas propriedades físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico *típico*

Marcos Schaaf Teixeira da Silva

Dissertação apresentada para obtenção do titulo de Mestre em Ecologia Aplicada

Piracicaba
2009

Marcos Schaaf Teixeira da Silva
Tecnólogo em Saneamento Ambiental: Controle Ambiental

Irrigação com efluente de esgoto tratado na cultura da laranja: implicações nas propriedades físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico *típico*

Orientador:
Prof. Dr. **MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ecologia Aplicada

Piracicaba
2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Silva, Marcos Schaaf Teixeira da
Irrigação com efluente de esgoto tratado na cultura da laranja: implicações nas propriedades físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico *típico* / Marcos Schaaf Teixeira da Silva. - - Piracicaba, 2009.
84 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1. Efluentes 2. Física do solo 3. Irrigação 4. Laranja 5. Química do solo 6. Reúso da água 7. Tratamento de esgotos sanitários I. Título

CDD 634.31
S586i

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Dedico

Ao meu Pai,
José Carlos Teixeira da Silva
pelo exemplo de vida que me passou.

As minhas Irmãs,
Milena e Sabrina e aos seus belos filhos
que irão trazer muita felicidade
para nossa família .

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marcos Vinícius Folegatti, ilustre orientador, que acreditou no meu trabalho e me proporcionou grande conhecimento na área agrícola. Torço pra que esta parceria continue por muitos anos.

Aos co-orientadores: Profa. Dra. Célia Regina Montes, Prof. Dr. Adolpho José Melfi e Prof. Dr. Denis Cesar Cararo.

Ao meu grande amigo Bruno Pereira pela luta no campo e o conhecimento repassado. Espero que essa amizade continue por muitos anos.

A minha família, pela base sólida que sempre me deu força para encarar a vida de frente. Ao meu pai, pela dedicação em formar não só o filho mais novo, mas todos os seus filhos que o amam. A minha mãe que de lá em cima me guia e me traz muita alegria.

A Ana Paula a belíssima mulher que teve paciência e me ajudou a suportar os momentos difíceis.

Ao grande amigo Carlos Perez que fez possível o projeto acontecer.

A Marinéia de Lara Haddad pela grande ajuda com os números.

A todos os funcionários da Biblioteca Central, em especial aqueles que trabalhavam com minha querida mãe.

Aos meus verdadeiros amigos que permanecem comigo até o momento.

Aos estagiários: Yuri, Eric, Rodrigo, Bruno, Rebeca e Fred. Que foram os braços fortes para a conclusão da pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial ao Gilmar pelo conhecimento passado em física do solo; a Beatriz pelo suporte dado em ocasiões especiais; ao Helião e “Seu” Antônio que fez possível a realização dos trabalhos de campo.

Aos funcionários do NUPEGEL– ESALQ/USP pelo apoio nas atividades de campo e laboratoriais. Em especial Clotilde e Paulão.

Aos Funcionários do Departamento de Ciências do Solo. Em especial ao Luiz Silva pelos ensinamentos laboratoriais em química do solo.

Aos grandes amigos que fiz: Ronaldo, Anthonny (Garotinho), Allan, Cícero, Fábio, Alex, Marconi, João Lelis, João Batista, Pedrão, Renato Saroli, Kennedy, Paulão, Renato Shimu, Marcão, “Porpurina”, Tamara, Magnus, Rafael, Sandra, Gilberto e Eráclito.

Ao Serviço Municipal de Água e Esgoto (SEMAE) de Piracicaba e seus funcionários, em especial Ronaldo pela ajuda prestada na hora que precisamos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte e apoio financeiro.

“De todos os elementos que Deus criou para glória sua, e para utilidade dos homens, nenhum é certamente mais digno de contemplação do que a Terra, Mãe comum de todos os viventes. Ela nos faz ainda hoje o mesmo agasalho que fizera aos nascidos no princípio do mundo. Nem a multidão imensa de famílias que a tem habitado, nem a terrível inundação e naufrágio que ela sofreu com todos os seus filhos criminosos, nem as diversas e espantosas revoluções que a têm muitas vezes quase lançado fora do seu eixo, nem a longa sucessão dos séculos que tudo muda e consome, são capazes de esterilizar o gérmen fecundo de sua fertilidade. Ela será sempre, até o fim do mundo, tão liberal e benéfica como foi princípio... apesar da ingratidão dos homens, que parece que trabalham continuamente para destruir e aniquilar as suas naturais produções, e para consumir e enfraquecer a sua primitiva substância.”

José Gregório de Moraes Navarro, Discurso *sobre o melhoramento da economia rústica no Brasil, 1799.*

SUMÁRIO

RESUMO....9
ABSTRACT....10
1 INTRODUÇÃO....14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA....17
2.1 Cultura da laranja....17
2.2 Uso de águas residuárias....19
2.3 Características do esgoto tratado e recomendações para uso na agricultura....25
2.4 Efeitos da utilização de esgoto tratado no solo e solução do solo....29
3 MATERIAL E MÉTODOS....32
3.1 Localização da área....32
3.2 Delineamento experimental....34
3.3 Tratos culturais....35
3.4 Coleta de amostras: efluente, solo e solução do solo....36
3.4.1 Efluente....36
3.4.2 Solo....37
3.4.3 Solução do solo....38
3.5 Análise estatística....38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO....39
4.1 Caracterização química do efluente de esgoto tratado utilizado na irrigação....39
4.2 Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades químicas do solo....41
4.2.1 pH (Acidez ativa)....41
4.2.2 H + Al (Acidez potencial)....43
4.2.3 Alumínio trocável....45
4.2.4 Sódio trocável....47
4.2.5 Potássio trocável....49
4.2.6 Cálcio trocável....52
4.2.7 Magnésio trocável....54

4.3 Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades físicas do solo 57
4.3.1 Dispersão de Argilas 57
4.3.2 Percentual de Sódio Trocável (PST) 59
4.4 Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades químicas da solução do solo 62
4.4.1 pH da solução do solo 62
4.4.2 Condutividade Elétrica (CE) na solução do solo 63
4.4.3 Alumínio na solução do solo.....65
4.4.4 Sódio na solução do solo 67
4.4.5 Potássio na solução do solo.....68
4.4.6 Cálcio na solução do solo.....70
4.4.7 Magnésio na solução do solo 72
5 CONCLUSÃO.....74
REFERÊNCIAS.....76

RESUMO

Irrigação com efluente de esgoto tratado na cultura da laranja: implicações nas propriedades físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico *típico*

A crise da água, o aumento de esgoto domésticos gerado em estações de tratamentos e o despejo destes efluentes em corpos d'água vêm sugerindo novas soluções para esses problemas. A disposição de água residuária tratada em solos implica na reciclagem de matéria orgânica e dos nutrientes, atuando como um processo complementar ao tratamento dessas águas. Rica em nutrientes principalmente N (nitrogênio), P (fósforo) e Na (sódio), a água residual tratada vem sendo utilizada na agricultura, utilizando critérios técnicos, como fonte de nutrientes para diversas culturas. Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar os possíveis efeitos da irrigação com efluente tratado em algumas propriedades químicas e físicas de um solo cultivado com laranja. A área experimental esta situada ao lado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Ribeirão Piracicamirim que se localiza nas margens da rodovia "Luiz de Queiroz" no município de Piracicaba-SP. Os tratamentos aplicados foram relacionados ao percentual de umidade da capacidade de campo variando em T100%, T125%, T150%, T200% e TSI (tratamento sem irrigação). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com parcelas subdivididas no tempo, com três repetições. A adubação realizada foi a de metade da dose recomendada para a cultura da laranja. Em todo o estudo as amostragens de solo foram realizadas nas camadas 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100, enquanto que as amostragens de solução do solo foram realizadas nas profundidades 30, 100 e 200 cm. As variáveis químicas determinadas no solo foram: pH, H + Al, Al, Na, K, Ca e Mg. Em solução do solo as variáveis determinadas foram: pH, CE, Al, Na, K, Ca e Mg. As variáveis físicas determinadas foram: fração granulométrica e grau de dispersão de argilas. O efluente de esgoto tratado (EET) utilizado apresenta baixas concentrações de Ca, Mg, Na, K, Al, CE e RAS quando comparado com valores encontrados na literatura. Por esse fato, o EET apresenta menor potencial de alterações nas propriedades químicas e físicas do solo. O teor de sódio trocável e PST aumentaram no decorrer do experimento, enquanto a concentração de sódio na solução do solo diminuiu. O cálcio trocável no solo sofreu diminuição dos teores nas camadas superficiais, e aumento nas camadas subsuperficias. As perspectivas da irrigação de efluente de esgoto tratado na cultura da laranja são promissoras, haja vista a importância da cultura no cenário brasileiro e mundial. No entanto, estudos de longo prazo são necessários a fim de monitorar os possíveis impactos que a irrigação de EET possa ocasionar na estrutura do solo.

Palavras - chave: Reuso agrícola; *Citrus*; Química de solo; Física do solo; Efluente de esgoto tratado

ABSTRACT

The crisis of the water, the sewage domestic increase generated in stations of treatments and the spilling of these effluents in bodies of water are suggesting new solutions for those problems. The disposition of wastewater treated in soils implicate in the nutrient and organic matter recycling, acting as a complementary process to the treatment of those waters. Rich in nutrients mainly N (Nitrogen), P (Phosphorus) and Na (Sodium) the treated wastewater has been used in the agriculture through technical criteria as source of nutrients for several crops. Before this context, the objective of this work was to analyze the possible effects of the irrigation with effluent treated in some chemical and physical properties of a soil cultivated with Orange. The experimental area located her beside the Station of Sewage Treatment (SST) Piracicamirim that is located in the margins of the highway "Luiz de Queiroz" in the municipal district of Piracicaba, São Paulo State. The applied treatments were related to the percentile of humidity of the field capacity varying in T100%, T125%, T150%, T200% and TSI (treatment without irrigation). The experimental design was a split plot scheme of randomized blocks subdivided in time, with five treatments and three repetitions. The accomplished fertilization was the one of half of the dose recommends for the orange crop. In whole the study the soil samplings were accomplished in the layers 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100, while the samplings of soil solution were accomplished in the depths 30, 100 and 200 cm. The chemical variables determined in the soil were pH, H + Al, Al, Na, K, Ca and Mg. In soil solution the variables were pH, CE, Al, Na, K, Ca and Mg. The certain physical variables were fraction particle sizing and degree of clay dispersion. The sewage effluent treated (SET) used presents low concentrations of Ca, Mg, In the, K, Al, CE and RAS when compared with values found in the literature. For that fact, SET present potential minor of alterations in the chemical and physical properties of the soil. The exchangeable sodium and PST increased in elapsing of the experiment, while the concentration of sodium in the soil solution decreased. The exchangeable calcium in the soil suffered decrease in the superficial layers, and increase in the subsuperficial layers. The perspectives of the irrigation of SET in the orange crop are promising, have seen the importance of the culture in the Brazilian and world scenery. However, it is suggested studies of long period in order to monitor the possible impacts to cause in the structure of the soil.

Keywords: Agricultural Reuse, *Citrus; Soil Chemistry;* Physical Soil; Sewage Treated

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtores de laranja no mundo.....17
Figura 2 - Distribuição regional da produção de laranja no Brasil. 18
Figura 3 - Fluxograma das fontes de águas residuárias para uso agrícola.....21
Figura 4 - Vista aérea da área experimental e Estação de tratamento de esgoto SEMAE-Piracicamirim. 32
Figura 5 - Esquema do sistema de irrigação.....33
Figura 6 - Croqui do experimento indicando os tratamentos e as repetições.....34
Figura 7 - Disposição dos tensiômetros nas diferentes camadas do solo.....36
Figura 8 - Lâminas mensais de irrigação complementar e precipitação pluvial no período estudado.....40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de citações sobre o uso de água residuária no mundo. 20
Tabela 2 - Características dos efluentes domésticos secundários.....26
Tabela 3 - Classificação de águas residuárias tratadas conforme o uso segundo a Organização Mundial de Saúde 27
Tabela 4 - Classificação de águas residuárias tratadas conforme os grupos de risco à saúde (GR), níveis de nematóides intestinais (NI) e coliformes fecais (CF) e o tratamento requerido (TR) 28
Tabela 5 - Característica química do solo antes e após da calagem. 35
Tabela 6 - Variáveis e metodologias utilizadas nas análises das amostras de efluente e solução do solo.....36
Tabela 7 - Variáveis e metodologias utilizadas nas análises químicas e físicas das amostras do solo. 37
Tabela 8 - Resultados da análise de caracterização do efluente de esgoto tratado (média de 12 amostras, coletadas mensalmente). 39
Tabela 9 - Valores do pH $CaCl_2$ do solo irrigado com efluente de esgoto tratado.....42
Tabela 10 - Valores de H + Al do solo irrigado com efluente de esgoto ($mmol_c\ kg^{-1}$).....44
Tabela 11 - Concentrações de alumínio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$) 46
Tabela 12 - Concentrações de sódio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$) 48
Tabela 13 - Concentrações de potássio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$).....50
Tabela 14 - Concentrações de cálcio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$).....53
Tabela 15 - Concentrações de magnésio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$) 55
Tabela 16 - Grau de Dispersão (GD) das argilas do solo.....57
Tabela 17 - Percentual de Sódio Trocável (PST) [(1)] das argilas do solo. 60
Tabela 18 - Valores do pH na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008.....63
Tabela 19 - Valores de CE na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 ($\mu S\ m^{-1}$).....64

Tabela 20 - Valores de alumínio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1}) 66
Tabela 21 - Valores de sódio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1}) 67
Tabela 22 - Valores de potássio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1}) 69
Tabela 23 - Valores de cálcio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1}) 71
Tabela 24 - Valores de magnésio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1}) 72

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas cinco décadas, a população humana vem aumentando de forma rápida, resultando, atualmente, cerca de 6,6 bilhões de pessoas. Uma das conseqüências da explosão populacional foi a crescente demanda de água para atender necessidades básicas, como beber e cozinhar, e para as demais atividades ligadas à produção e ao lazer.

Segundo TUNDISI (2005), somente 3% da água do planeta é disponível como água doce. Desta porcentagem, cerca de 75% estão congelados nas calotas polares e cerca de 10% estão reservados nos aqüíferos. Portanto, somente 15% dos 3% de água doce do planeta estão disponíveis. O Brasil dispõe de cerca de 8% do total de água doce do planeta, porém desigualmente distribuído no território nacional: enquanto a Amazônia detém a maior parte da reserva hídrica do País (cerca de 70%) para apenas 15% da população total brasileira. Enquanto que em outras regiões, como o semi-árido nordestino, são encontradas graves situações de seca. Assim como em todo o mundo, cresce no Brasil a consciência em torno da importância do uso racional da água, da necessidade de controle de perdas e desperdícios e da introdução definitiva da reciclagem da água na agenda nacional (BASTOS, 2003).

Os principais usos consuntivos da água ocorrem, mundialmente, no setor agrícola (cerca de 69% do total), destacando-se, principalmente, a irrigação de culturas. Sendo estas, apenas 17% das lavouras mundiais, as quais produzem mais de um terço dos alimentos do planeta (CLARKE e KING, 2005).

É inquestionável a necessidade de utilização da água na agricultura em nosso país. No Brasil a agricultura irrigada ocupa de 5 a 6% das terras cultivadas, sendo responsável, no entanto, por 16% do volume da produção e 35% do valor arrecadado com a comercialização de produtos agrícolas (REBOUÇAS *et al.*, 2006).

Segundo a ONU no relatório *Desafios para Águas Internacionais: Avaliação Regional em uma Perspectiva Global,* cerca de dois terços da água doce proveniente de aqüíferos e outros rios é consumida por fazendas. As plantações estão usando mais água na medida em que a população mundial aumenta e mais pessoas passam a adotar "*a dieta dos países ocidentais*" (BBC, 2006).

Embora dependam da água para a sobrevivência e para o desenvolvimento econômico, as sociedades humanas poluem e degradam este recurso, tanto as águas superficiais como subterrâneas. A diversificação dos usos múltiplos, o despejo de resíduos líquidos e sólidos nos rios, lagos e represas e a destruição das áreas alagadas e das matas galeria tem produzido contínua e sistemática deterioração e perdas extremamente elevadas em quantidade e qualidade da água.

Atualmente um dos maiores problemas que a sociedade vem enfrentando é a degradação dos recursos hídricos, principalmente nos grandes centros urbanos onde a concentração de pessoas que necessitam de uma água de boa qualidade são maiores.

O uso da água pela população urbana implica na geração de esgotos domésticos proveniente de esgotos sanitários de residências e esgotos de atividades comerciais. Estes, tratados ou não, quando lançados num corpo d'água, alteram as características físicas, químicas e biológicas desse corpo. As características básicas dos esgotos domésticos que demandam preocupação com o meio ambiente envolvem principalmente matéria orgânica, microorganismos patogênicos e nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio.

O consumo excessivo de água pela agricultura, a deterioração dos corpos d'água e a escassez de água em várias regiões do mundo, vem dificultando o atendimento aos múltiplos usos a que se destina e juntamente havendo a necessidade de adoção de novas medidas que solucionem ou minimizem estes problemas. Uma das alternativas para amenizar este problema em muitas regiões, tem sido considerar o uso de águas de qualidade inferior para os mais variados setores da sociedade.

Segundo Shuval et al (1985), uma das alternativas é reutilizar as águas residuárias tratadas em diversas atividades, desde que sejam seguidos os critérios recomendados. Sobre o ponto de vista agronômico essa utilização é desejável, pois este efluente é rico em nutrientes que são fundamentais para o crescimento das culturas.

Um correto planejamento do uso do esgoto doméstico tratado pode representar na atenuação dos problemas de poluição das águas superficiais, não apenas conservando os valiosos recursos hídricos como também aproveitando nutrientes

contidos na água de esgoto para dispor nas culturas plantadas, podendo reduzir ou eliminar o custo com fertilizantes comercializados e o consumo de água (PESCOD, 1992).

Intrinsecamente nesse contexto, o presente trabalho realizado entre os meses de set/2007 a set/2008 teve por objetivo avaliar os possíveis efeitos da irrigação com esgoto tratado nas propriedades físicas e químicas de um latossolo cultivado com laranja. O experimento foi realizado no município de Piracicaba – SP, dentro do campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. A área se localiza ao lado da Estação de tratamento de esgoto (ETE) do Ribeirão Piracicamirim.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da laranja

Os citros compreendem um grande grupo de plantas do gênero *Citrus* e outros gêneros afins (*Fortunella* e *Poncirus*) ou híbridos da família Rutaceae. As espécies de laranja mais cultivadas são: *C. sinensis*, *C. reticulata*, *C. limon, C.aurantiifolia, C. limettioides, C. paradisi, C. medica*, *C. aurantium* e *C. grandis*. Seus frutos são ricos em vitamina C; possuem ainda vitaminas A e complexo B, além de sais minerais, principalmente cálcio, potássio, sódio, fósforo e ferro.

A citricultura é um dos setores mais competitivos e de maior potencial de crescimento do agronegócio. O Brasil detém 30% da produção mundial de laranja e 50% de suco de laranja, correspondendo à produção de 18 milhões de toneladas conforme a Figura 1 (FAO, 2008). O sistema agroindustrial citrícola movimenta R$ 9 bilhões por ano e gera mais de 400 mil empregos diretos e indiretos. Inovações em pesquisa, tecnologia e logística estão na base da eficiência e liderança do Brasil (NEVES et al., 2006).

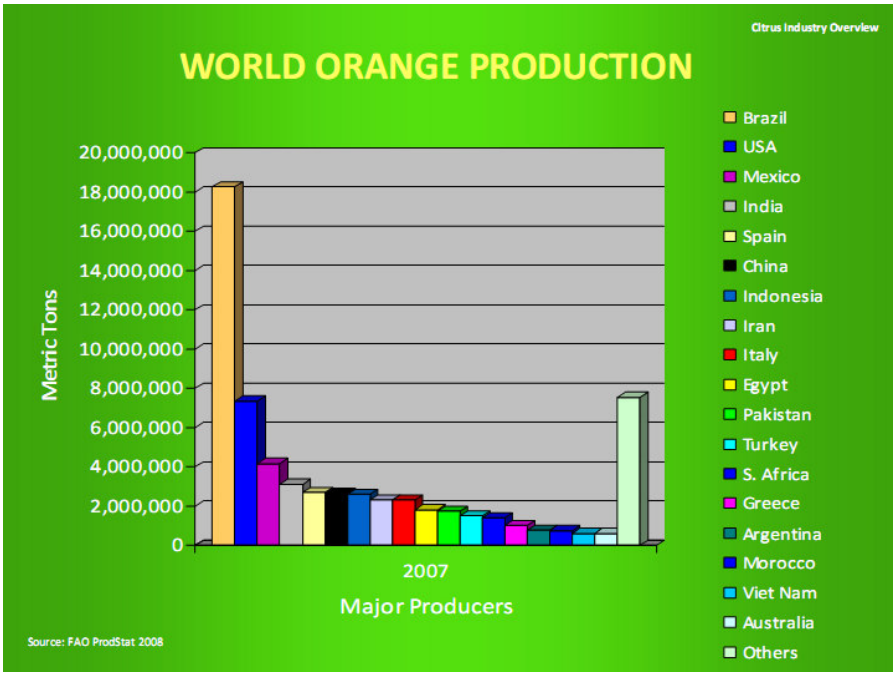

Figura 1 - Produtores de laranja no mundo (FAO ProdStat, 2008)

A produção do estado de São Paulo, segundo o IBGE 2004, corresponde a 84,2% (Figura 2) da produção brasileira de laranjas, produzindo em torno de 348 milhões de caixas de laranja na safra 2004/05 (FNP, 2006). Com o maior pomar citrícola do mundo, o estado possui cerca de 34,2 milhões de plantas em formação e 163,5 milhões de plantas cítricas em produção (PEIXOTO, 2005).

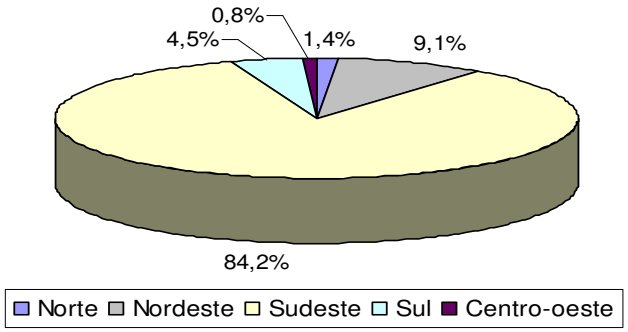

Figura 2 - Distribuição regional da produção de laranja no Brasil – Safra 2003/2004 (IBGE, 2004)

As exportações nacionais trouxeram ao País aproximadamente US$ 1,2 bilhão em suco de laranja, o que representa a impressionante fatia de 80% do mercado mundial, cujo consumo vai crescendo a uma taxa de 2% a 4% ao ano. Dois terços das exportações vão para a União Européia e 15% para os Estados Unidos, que voltaram a importar volumes expressivos depois dos últimos furacões. A Ásia tem grande potencial de aumento de consumo. Problemas climáticos na Florida e doenças em geral fizeram com que os preços aumentassem mais de 40% em 2005 (NEVES et al., 2006).

São Paulo, estado que detém a maior da produção brasileira dessa fruta, colheu 15,0 milhões de toneladas, 2,21% em relação a 2005 e 4,32% quando confrontado com janeiro/06, respectivamente (IBGE, 2006).

A laranja está entre as principais frutas cultivadas no mundo. É consumida *in natura*, como fruta de mesa, e na forma de sucos concentrados, pasteurizados ou frescos.

Os cítricos requerem entre 600 e 1300 mm anuais de água. No Estado de São Paulo o consumo de água aproxima-se de 3 $mm.dia^{-1}$ em solos irrigados e de 1,5 $mm.dia^{-1}$ nos não irrigados. Os dados de diferentes regiões do mundo mostram que

o consumo dos citros no período de inverno é de 1,5 $mm.dia^{-1}$ e no período de verão é de 3,2 a 4,7$mm.dia^{-1}$ (FILHO, 2005).

A distribuição de água no citros é de extrema importância, pois a saturação hídrica é uma condição perigosa para estas árvores, exceto por poucas horas, podendo causar maiores danos que uma deficiência hídrica (FILHO, 2005).

2.2 Uso de águas residuárias

As primeiras fazendas documentadas que utilizavam esgotos, chamadas "Sewage Farms", foram a de Bunzlau na atual Alemanha em 1531 e Edinburgh na Escócia por volta de 1650. Muitas outras fazendas, como as de Londres, Paris (1868), Berlin (1876), e Melbourne (1897), foram estabelecidas mais tarde. De acordo com as pesquisas, a aplicação de água residuária proveniente da comunidade e processos industriais está difundida nos Estados Unidos e muitos outros países por toda a parte do mundo, em condições adequadas, é uma alternativa exeqüível para sistemas avançados ou tratamento terciário de esgotos municipais (FEIGIN, 1991).

No passado, águas residuárias tratadas foram amplamente adotadas com uma maior dimensão no planejamento do controle do uso de efluentes, com restrições sendo usadas em poucos casos. Um planejamento mais integrado do uso de águas residuárias na agricultura trará benefícios da combinação de medidas de proteção de modo a permitir que qualquer sistema solo/planta possa ser economicamente viável para as instituições e as condições socioculturais (PESCOD, 1992).

No mundo a mais conhecida estimativa feita foi realizada em 2001 na qual mundialmente 20 milhões de hectares de terras estão sendo irrigados com águas residuárias, não diluídas ou parcialmente diluídas (FUTURE HARVEST, 2001). A tabela 1 demonstra o levantamento realizado das citações sobre o uso de água residuária no mundo.

Tabela 1 - Número de citações sobre o uso de água residuária no mundo

País	№(1)	País	№(1)	País	№(1)	País	№(1)
Austrália	25	França	9	Líbia	2	Arábia Saudita	2
Áustria	1	Alemanha	19	Lituânia	1	Eslovênia	1
Azerbaijão	2	Grécia	1	Malásia	3	Espanha	15
Bangladeche	1	Europa	9	México	16	Sudão	3
Brasil	4	Hungria	5	Marrocos	1	Suécia	10
Bielorrússia	1	Índia	25	Holanda	10	Suíça	1
Canadá	8	Irã	3	Nova Zelândia	1	Síria	1
Chile	2	Irlanda	1	Oman	3	Taiwan	1
China	5	Israel	56	Peru	2	Tailândia	2
Chipre	4	Itália	9	Polônia	1	Tunísia	2
República Tcheca	5	Japão	10	Portugal	4	Turquia	2
Dinamarca	1	Jordânia	8	Qatar	1	Turcomenistão	1
Egito	13	Kuwait	5	Romênia	35	Estados Unidos	24
Finlândia	1	Látvia	1	Rússia	42	Venezuela	2
						Total	423

Fonte: Adaptado de Scott et al. (2000).

(1) número de referências citadas.

O interesse pela utilização de esgotos sanitários em atividades urbanas, industriais e agrícolas vem sendo renovado e sua prática mostra-se cada vez mais freqüente em vários países, sejam desenvolvidos ou em desenvolvimento.

Nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, é predominante a prática da aplicação de águas residuárias municipais (tratadas ou não tratadas) no solo. Nos países desenvolvidos onde as normas ambientais são aplicadas, grande parte da água residuária tratada é destinada a irrigação de pastagens, culturas que produzem fibras e sementes e, de forma mais limitada, para irrigação de pomares, vinhas, e outras culturas. Outros importantes usos incluem recarga de águas subterrâneas, irrigação de jardins (campos de golfe, auto-estradas, playgrounds, pátios escolares, praças e parques), indústrias, construções, controle de poeiras, habitats de animais selvagens e aqüicultura. Em países em desenvolvimento, embora as leis existam, elas nem sempre são respeitadas. A prática do uso de água residuária sem tratamento é amplamente usada para a agricultura e aqüicultura há séculos em países como China, Índia e México (HUSSAIN et al., 2002).

Huibers e Van Lier (2005) apresentaram um fluxograma com as fontes de águas residuárias e seus possíveis usos (Figura 3).

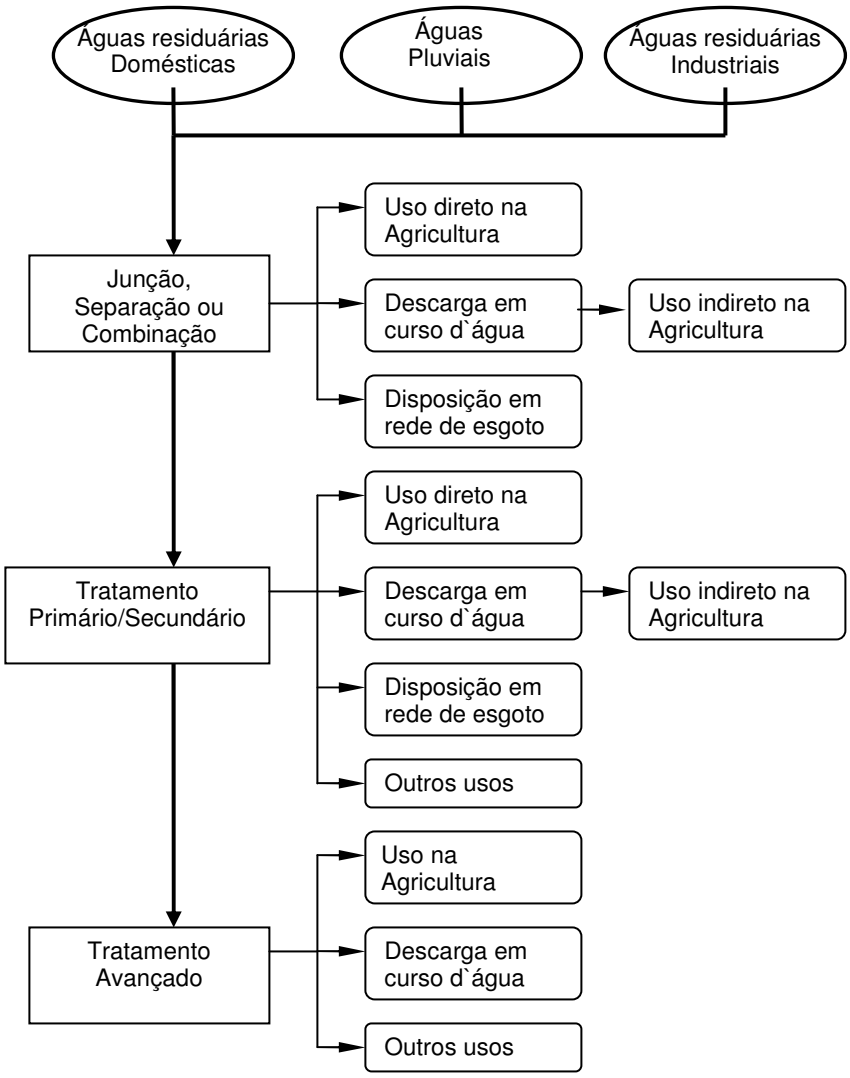

Figura 3 - Fluxograma das fontes de águas residuárias para uso agrícola

Fonte: Adaptado de Huibers e Van Lier (2005)

Aliando as necessidades de tratamento em nível adequado e as potencialidades que as características dos esgotos sanitários oferecem, a utilização de efluentes tratados apresenta, dentre outros, os seguintes atrativos: (i) reuso e economia de água em atividades urbanas, industriais e agropecuárias; (ii) reciclagem de nutrientes, por exemplo, em irrigação e aqüicultura; (iii) economia de insumos em atividades produtivas, tais como fertilizantes e ração animal, (iv) controle de poluição e de eutrofização dos corpos receptores (PROSAB, 2006).

Segundo Huibers e Van Lier (2005), a necessidade de remoção de nutriente dos sistemas de tratamento de águas residuárias fica menor quando os efluentes são utilizados por agricultores. Neste exemplo, a otimização dos custos ocorre em ambos os lados: o menor custo para sistemas de tratamento e uma a menor necessidade de fertilizantes artificiais na agricultura.

A aplicação de água residuárias no solo tem sido recomendada pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA - Environmental Protection Agency) como o método de reciclagem de nutrientes e de matéria orgânica o qual protege os recursos de água doce. Alguns exemplos envolvem a sua aplicação em plantações, pastagens, florestas, áreas de recreação incluindo parques e campo de golfe, e em áreas degradadas como em minas desativadas (SAUCEDO, 2005).

Em condições controladas, o uso de efluente tratado na irrigação, minimiza riscos a saúde humana relacionado à presença de organismos patogênicos, à contaminação de alimentos, do solo, dos rios e águas subterrâneas (AL-NAKSHABANDI, 1997).

De acordo com Hussain et al. (2002) evidencia que os principais tópicos sobre os potenciais impactos do uso de água residuária estão relacionados com:

- Saúde pública,
- Culturas agrícolas,
- Recursos pedológicos,
- Recursos freáticos,
- Valores das propriedades,
- Impactos ambientais,
- Impactos sociais

A recarga artificial de aqüíferos com águas residuárias recicladas é de grande importância na gestão dos recursos hídricos e no aumento do abastecimento de água em regiões áridas e semi-áridas. As principais vantagens do reuso da água residuária são: (1) fornecer uma fonte adicional de baixo custo da água, (2) sistemas planejados corretamente podem reduzir os riscos relacionados com saúde e o ambiente, (3) aumento dos rendimentos das colheitas devido à irrigação complementar e os

nutrientes contidos nas águas residuais, e (4) recarga de água subterrânea alimentando aqüíferos (BOURI et al, 2007).

Apesar dos métodos de tratamento de efluentes no solo serem utilizados amplamente no mundo (TOZE, 2005), eles estão sujeitos a criticas. Essas críticas se baseiam nos seguintes fatores segundo Feigin et al (1991): (a) risco a saúde publica como transmissão de vírus e bactérias patogênicas para o homem e animais, contaminação do lençol freático por produtos químicos perigosos e propagação de insetos vetores de doenças; (b) efeito maléfico nas propriedades físicas e químicas do solo ao longo do tempo; (c) escassez de disponibilidade de terra; (d) aceite publico de produtos obtidos de culturas que cresceram em solos irrigados com efluente de estações de tratamento; (e) Viabilidade econômica.

Impactos relacionados com salinidade da irrigação com águas residuárias sobre recursos pedológicos podem ser expressa em termos econômicos com: (1) diminuição da produção; (2) perda de produtividade do solo; (3) depreciação no valor de mercado da terra; e (4) gastos em recuperação de solos degradados (HUSSAIN et al, 2002).

O reuso de água residuária é uma fonte de água com alto potencial para utilização na agricultura. O reuso de esgoto tratado possui uma vantagem ambiental sobre a água fornecida para abastecimento público, devido principalmente à presença de nutrientes. As ETE's e as indústrias descartam em curso d'água (lagos, rios e ambientes da costa marinha) grande volume de águas que poderiam ser reutilizados. Estes descartes estão diretamente relacionados a severas degradações ao ambiente aquático devido presença de nutrientes orgânicos e inorgânicos que podem ocasionardesequilibrios ambientais, tais como, eutrofização e florescimento de algas (TOZE, 2005).

Uma série de países vem desenvolvendo diretrizes de qualidade dos critérios e recomendações para o reuso de efluentes ma irrigação, a fim de obter o máximo beneficio para a cultura (TOZE, 2005; FEIGIN, 1991). A disposição no solo dos efluentes tratados, mediante a irrigação de plantas, possui triplo propósito: (i) tratamento complementar à medida que o solo e as plantas atuam como um "filtro vivo", absorvendo e retendo poluentes e organismos patogênicos presentes em águas

residuárias, (ii) como fonte d'água (ii) e de nutrientes ao sistema solo-planta (FONSECA, 2001; FEIGIN, 1991).

Vários trabalhos na literatura demonstraram que o uso de efluente de esgoto tratado na agricultura pode aumentar a produtividade agrícola em até 60% devido sua composição de nutrientes como nitrogênio, tanto na forma orgânica como mineral, cálcio, magnésio e fósforo (RASCHID-SALLY et al., 2001; MELI et al., 2002; AZEVEDO e OLIVEIRA, 2005).

Dentre os principais uso de águas residuárias no solo (irrigação, infiltração/percolação e escoamento à superfície), a irrigação de culturas tem sido o método mais acessível e eficiente, particularmente, nos países em desenvolvimento onde não há uma política para o tratamento de águas residuárias (FEIGIN et al., 1991; DARWISH et al., 1999; FRIEDEL et al., 2000 apud MELFI, 2005).

Altas taxas de esgoto tratado podem ser aplicadas com sucesso na cultura do *Citrus* em solos bem drenados. Há benefícios para população urbana, para a comunidade agrícola, e o ambiente. O maior benefício para o setor urbano é devido à grande quantidade de esgoto tratado utilizado de forma consciente. Os benefícios para a comunidade agrícola se relacionam ao baixo custo da água quando comparado com o das águas de abastecimento. Para o ambiente o principal benefício se concentra na recarga de águas subterrâneas (PARSONS et al., 2001).

2.3 Características do esgoto tratado e recomendações para uso na agricultura

A composição e a concentração de esgotos sanitários de uma comunidade dependem de seus hábitos alimentares, do clima, das condições sócio-econômicas da população, e principalmente da qualidade e da quantidade de água consumida. O baixo consumo de água define uma forte concentração (baixa diluição) das águas residuárias, e o alto consumo uma fraca concentração (alta diluição). Os esgotos sanitários contém cerca de 99,9% de água; a fração restante é composta por sólidos orgânicos e (cerca de 70%), inorgânicos (cerca de 30%), suspensos e dissolvidos. Os sólidos orgânicos são compostos, principalmente, de carboidratos, proteínas, gorduras, óleos e graxas. Os inorgânicos são constituídos de partículas de areia, sais e metais (Von Sperling, 1996).

A taxa de geração de água residuária doméstica é geralmente em torno de 80-200 litros por pessoa por dia, ou cerca de 30-70 m^3 por pessoa por ano. Dessa forma, em regiões semi-áridas com uma demanda de água, por exemplo, de 2 m^3 por ano, a água residuária gerada por uma pessoa poderia ser utilizada para irrigar 15-25 m^2 de terras. Em outras palavras, 1000 pessoas produziriam água residuária suficiente para irrigar 1.500-2.500 ha (FAO, 2008). Baseado nesse contexto pode-se estimar que a ETE do Ribeirão Piracicamirim localizada em Piracicaba - SP, com capacidade de atender 90.000 pessoas, pode produzir efluente de esgoto tratado para irrigar 13.500-22.500 ha.

Com base na revisão de estudos epidemiológicos sobre irrigação de águas residuárias, Shuval et al. (1986) em uma publicação pelo Banco Mundial concluiu que: a) a irrigação de culturas com águas residuais não tratadas ocasiona significativas infecções intestinais por nematóides em consumidores e trabalhadores de campo. Estes trabalhadores, especialmente aqueles que trabalham descalços, são mais susceptíveis a terem infecções por parasitas do que aqueles que não trabalham em áreas irrigadas com águas residuárias; b) a irrigação com água residuária adequadamente tratada não ocasiona infecções intestinais por nematóides em trabalhadores de campo e consumidores; c) cólera, e também febre tifóide, podem ser efetivamente transmitidas pela irrigação de vegetais com águas residuárias sem tratamento; d) o pastejo bovino irrigado com águas residuárias brutas pode tornar a

carne do animal infectada com parasitas intestinais, mas há poucas provas de riscos reais para os seres humanos; e) existem poucas evidências de que a saúde das pessoas que vivem perto de áreas irrigadas com águas residuárias brutas é negativamente afetada, seja diretamente pelo contato com o solo ou indiretamente pelo contato com os trabalhadores agrícolas.

A utilização de efluente de esgoto tratado na agricultura se deve ao fato de este ser uma fonte de água e, principalmente, de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Na Tabela 2 são apresentadas as características dos efluentes domésticos secundários quanto a sua constituição.

Tabela 2 - Características dos efluentes domésticos secundários

Constituinte [(*)]	[(1)]**Concentração mg L^{-1}**	[(2)]**Concentração mg L^{-1}**
Sólidos totais	400-1200	307-951
Sólidos dissolvidos	10-100	-
Sólidos Suspensos	400-1100	-
pH	7,8-8,1	6,8-9,6
Condutividade Elétrica (CE) $dS.m^{-1}$	-	0,46-1,49
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5)	10-80	-
Demanda Química de Oxigênio	30-160	19-105
Nitrogênio Total	10-50	1,5-25
Nitrogênio - Nitrato	0-10	0-24
Nitrogênio – Amônia	1-40	0,1-21
Fósforo Total	6-17	2-18
Cloretos	40-200	45-321
Alcalinidade (carbonato de cálcio)	200-700	70-345
Sódio	50-250	63-248
Potássio	10-40	9,4-20
Cálcio	20-120	11-55
Magnésio	10-50	5-47
Boro	0-1	0,1-1,9
RAS	4,5-7,9	-

Fonte: [(1)] Pound & Crites (1973), Thomas & Law (1977), Idelovitch (1979), Asano et al. (1985) apud Feigin et al. (1991). [(2)] Falkiner &. Smith (1997). [(*)] Todas as unidades em mg L^{-1}, exceto para os valores de RAS (mmol L^{-1}) ^{½} e pH (adimensional).

Apesar da viabilidade do uso de efluente tratado oriundos de estações de tratamentos de água, devem-se levar em considerações as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) quanto a esse reuso. As Tabelas 3 e 4 ilustram os principais aspectos considerados pela OMS para o reuso de efluente tratado: tipo de irrigação versus cultura, grupos de risco (agricultores, consumidores e publico em geral), níveis de tolerância de nematóides e coliformes fecais, e o processo de tratamento utilizado.

Tabela 3 - Classificação de águas residuárias tratadas conforme o uso segundo a Organização Mundial de Saúde

Categoria	Condição de uso
A	Em culturas não aptas para o consumo humano; em culturas cujos produtos são processados a altas temperaturas, verduras e frutas cultivadas exclusivamente para enlatados e ou que sofrem outros processamentos que eliminam microorganismos patogênicos; cultivo de forrageiras para fornecimento a seco aos animais; e em áreas cercadas e sem acesso publico.
B	Em pastagens e forrageiras consumidas verdes, cultivos cujo produto de consumo humano não tenha contato direto com a água residuária e/ou ingeridos cozidos e/ou consumidos após serem descascados, e cultivos irrigados por aspersão.
C	Irrigação localizada sem exposição de trabalhadores e publico em áreas com acesso ao público, e para todo produto que seja ingerido cru e cultivado em contato com efluentes de estação de tratamento de águas residuárias.

Fonte: WHO (1989) apud CARARO (2004).

Segundo WHO (2005) as principais medidas para o uso correto de águas residuárias estão em cinco grandes categorias: (1) Tratamento do esgoto (remoção de organismos patogênicos como principal objetivo), (2) Restrição de culturas, (3) Técnicas de irrigação, (4) Controle da exposição humana e (5) Quimioterapia e vacinação.

Um estudo realizado pela FAO (1992) a respeito dos efeitos do uso de água residuária sobre os trabalhadores em Guadalajara relacionou a elevadaa prevalência de doenças parasitárias encontradas, tanto para os trabalhadores expostos quanto no

grupo controle, ao mau saneamento ambiental, aos hábitos higiênicos desorientados e a falta de educação em saúde.

Tabela 4 - Classificação de águas residuárias tratadas conforme os grupos de risco à saúde (GR), níveis de nematóides intestinais (NI) e coliformes fecais (CF) e o tratamento requerido (TR)

Categoria	**GR**	**NI (ovos/L)**	**CF (n°/L)**	**TR**
A	Trabalhadores do campo	≤1	≤1000	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente
B	Trabalhadores do campo, consumidor	≤1	Sem padrão recomendado	8-10 dias em lagoas de estabilização ou até remoção de CF
C	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento, mas não menos que sedimentação primária

Fonte: WHO (1989) apud CARARO (2004).

Esgotos domésticos contêm uma elevada quantidade de microorganismos, dentre eles, bactérias, vírus e protozoários e nematóides os quais podem ser responsáveis por diversas doenças. A maioria destes é eliminada durante os processos de tratamento biológico e desinfecção do efluente (FEIGIN, 1991). No entanto, esgotos tratados podem conter húmus (produto da decomposição parcial vegetal e animal), metais pesados, pesticidas, subprodutos de desinfecção, contaminantes industriais, microorganismos, compostos inorgânicos e orgânicos, sendo encontrados também produtos farmacêuticos e de higiene pessoal muitos deles com comportamento geoquímico desconhecido (APELO e POSTMA, 1993; DOUGHTON, 2004 apud CANDELA et al., 2007).

2.4 Efeitos da utilização de esgoto tratado no solo e solução do solo

As principais alterações nos solos irrigados com efluente de esgoto tratado, principalmente aqueles sob pastagens, estão relacionadas aos efeitos sobre (i) o carbono total (CT), o nitrogênio total (NT), a atividade microbiana e a N-mineral (na solução no solo); (ii) o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) trocáveis; (iii) a salinidade (medida pela CE), a sodicidade, a dispersão de argilas e a condutividade hidráulica (FONSECA, 2005).

O aumento da CE (condutividade elétrica) do solo, bem como do percentual de sódio trocável (PST) tem sido relatado em alguns estudos realizados sobre pastagens irrigadas com efluente de esgoto tratado (FEIGIN et al, 1991).

A condutividade elétrica do solo depende de vários fatores, dentre eles: do teor de água; da porcentagem de argila; da variação da profundidade das camadas condutoras solo; do material de origem do solo; da composição química da solução do solo e dos íons trocáveis; da interação entre os íons não trocáveis e os trocáveis; da porosidade, do formato e do tamanho dos poros; da concentração de eletrólitos na água dos poros; da temperatura do solo; da quantidade e composição dos colóides; da densidade, da salinidade, dos metais e do conteúdo de matéria orgânica presente no solo (KITCHEN et al., 1999; SUDDUTH et al., 2000; MOLIN e CASTRO, 2006). Segundo Tomé Jr. (1997) quanto maior a concentração de sais na solução do solo maior a corrente elétrica que poderá ser transmitida através dela. Por isso, a CE da solução é uma importante ferramenta utilizada como indicadora da salinidade do solo.

Uma grande quantidade de Na nos sítios de troca dos minerais de argila reduz a atração entre as partículas do solo ocasionando expansão e dispersão. A intensidade dos efeitos do Na em promover dispersão de argila e, conseqüentemente, deterioração na estrutura, alteração da porosidade e diminuição na condutividade hidráulica do solo parece estar relacionada à eficiência das chuvas em ocasionar lixiviação do sódio. Deste modo, o monitoramento das concentrações desse elemento no sistema solo-planta-efluente-ambiente é de grande importância (BOND, 1998). Alguns trabalhos verificaram que a quantidade de sódio removida pelas culturas é desprezível em

relação à quantidade desse elemento adicionado via irrigação com efluente (GLOAQUEN, 2005; RENGASAMY e OLSSON, 1993).

A agregação das partículas de argila é possível devido à neutralização de suas cargas negativas superficiais pelas cargas positivas de alguns cátions, como H^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+}. A matéria orgânica no estado coloidal e as macromoléculas formadas durante a decomposição de resíduos orgânicos, principalmente polissacarídeos, servem de agente cimentante entre as partículas, razão pela qual solos, com alto teor de matéria orgânica, podem apresentar agregados mais estáveis (resistentes à desagregação por agentes físicos como a precipitação e a irrigação) (Tomé Jr., 1997). A dispersão, assim como a estabilidade dos agregados, estão sujeitas a uma série de influências, entre as quais se destacada o papel da matéria orgânica como agente ligante (KRETZSCHMAR et al., 1993), óxidos de Fe e Al (GOLDBERG et al., 1988; LIMA e ANDERSON, 1997) e composição mineralógica (VEIGA et al., 1993; FERREIRA et al., 1999).

Como ressalta Fonseca (2005) a maior parte do Na que entra via-efluente permanece em solução devido ao forte grau de hidratação deste elemento, tornando-o mais susceptível à lixiviação. Um dos possíveis motivos da lixiviação desse elemento é devido à menor preferência de adsorção deste cátion no complexo de troca, quando comparado aos cátions Al^{3+}, Ca^{2+} e Mg^{2+} e K^+.

Os aspectos relacionados à irrigação com efluentes que constituem riscos de salinização e sodificação de solos quando utilizados como água na agricultura são: (i) a concentração total de sais na água pode causar aumento da salinidade do solo; (ii) as concentrações de certos íons como Cl^- e Na^+ podem causar, direta ou indiretamente, efeitos tóxicos às plantas, incluindo desequilíbrio nutricional; (iii) as concentrações de certos íons podem resultar na deterioração da estrutura do solo e conseqüentemente na redução da permeabilidade (FEIGIN et al, 1991). A salinização de um solo irrigado com efluente depende da qualidade do efluente utilizado na irrigação, da existência e do nível de drenagem natural e, ou, artificial do solo, da profundidade do lençol freático e da concentração original de sais no perfil do solo.

Lucena et al. (2006) quando comparou a irrigação com água de abastecimento com efluente de esgoto tratado encontrou que o efluente aumentou o pH, a CTC e os teores de P e matéria orgânica do solo. As áreas irrigadas com efluente de esgoto tratado por longos períodos têm apresentado aumento nas concentrações de cálcio (JOHNS e McCONCHIE, 1994; ORTEGA-LARROCEA et al., 2001; GAZZAZ, 1999) , sódio (YADAV et al., 2002; GAZZAZ, 1999), potássio (FONSECA, 2005) e também nos valores de pH dos solos (FALKINER e SMITH 1997; GAZZAZ, 1999). No entanto, segundo Kouraa et al. (2002), a irrigação num curto período de tempo não altera as características físicas e químicas do solo.

Em um estudo realizado na Coréia, solos cultivados com arroz não apresentaram modificações no solo. No entanto, sugere-se que a contínua irrigação com alta-doses de esgoto tratado poderia causar acúmulo de sais no solo (YOON, 2001).

Em 2005, Quian e Mecham em um estudo com o objetivo de comparar a irrigação utilizando água residuária com a irrigação utilizando água potável observaram, no solo irrigado com efluente, um aumento de 187% na CE, 200% no sódio trocável, 24% no cálcio trocável, 30% no fósforo trocável, 15% no magnésio trocável e 40% na concentração de boro.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área

O experimento foi realizado no campus da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, situada em Piracicaba-SP, com coordenadas geográficas 22º 42' de latitude Sul, 47°30' de longitude Oeste e aproximadamente 546 metros de altitude. A cidade possui clima do tipo Cwa ou Subtropical úmido no sistema Koppen, caracterizado por invernos secos e verões chuvosos. As temperaturas médias mais altas ocorrem no período de dezembro a março, podendo registrar 38°C e as mais baixas ocorrem nos meses junho e julho, com temperatura média de 17°C (SALATI, 1996). O índice pluviométrico anual é de 1257 mm (SENTELHAS *et al.*, 2000). O solo da área foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (EMBRAPA, 1999).

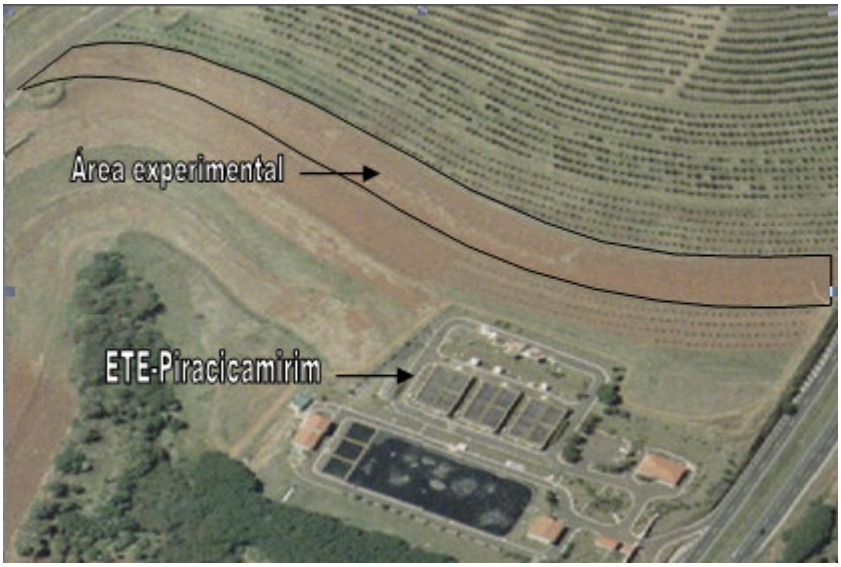

Figura 4 - Vista aérea da área experimental e Estação de tratamento de esgoto SEMAE-Piracicamirim (Serviço Municipal de Água e Esgotos)

A área experimental com 7200 m^2 está situada ao lado da Estação de tratamento de esgoto (ETE) do Ribeirão Piracicamirim que se localiza nas margens da Rodovia Luiz de Queiroz no município de Piracicaba-SP (Figura 4). O Sistema de tratamento foi projetado para atender uma população de 90000 habitantes, ocupando uma área de 30000 m^2. A ETE Piracicamirim tem uma eficiência esperada de 97,3% em termos de remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

A ETE Piracicamirim, operada pelo SEMAE, é constituída por tratamento preliminar com peneiras rotativas e caixa de areia aerada, tratamento secundário com reatores anaeróbicos UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket),* seguidos do processo de lodo ativado, este constituído de tanque de aeração munido de aeradores superficiais flutuantes e decantadores secundários laminares e sistemas de retorno de lodo para o tanque de aeração e de descarte do excesso de lodo ativado para digestão nos reatores UASB. Na época do experimento o tanque de aeração estava comprometido devido à manta de impermeabilização ter sido furada. Algumas análises foram realizadas e foi percebido que as características do esgoto tratado oscilavam por razão do tanque não estar funcionando corretamente. Por esse motivo, o ponto de captação do ET foi redefinido para antes da lagoa aerada, ou seja, logo após da saída do UASB. Após a captação o efluente, ele é bombeado para o primeiro reservatório. Em seguida, sob pressão de uma bomba hidráulica o efluente de esgoto tratado (EET) é filtrado no filtro de areia e armazenado no segundo reservatório. . Após sua filtragem, o EET sofre a ação do reator ultravioleta (UV) eliminando organismos patógenos, e por ação do desnível é escoado para o terceiro reservatório (Figura 5). Através do painel de programação da irrigação a terceira bomba é acionada irrigando com EET filtrado e desinfectado as respectivas parcelas. Cabe salientar, que a utilização do UV não interfere nas propriedades químicas do efluente e conseqüentemente do solo. A inserção do UV no sistema de irrigação se deu pelo fato de ser fonte de pesquisa de outros pós-graduandos pertencente ao mesmo projeto.

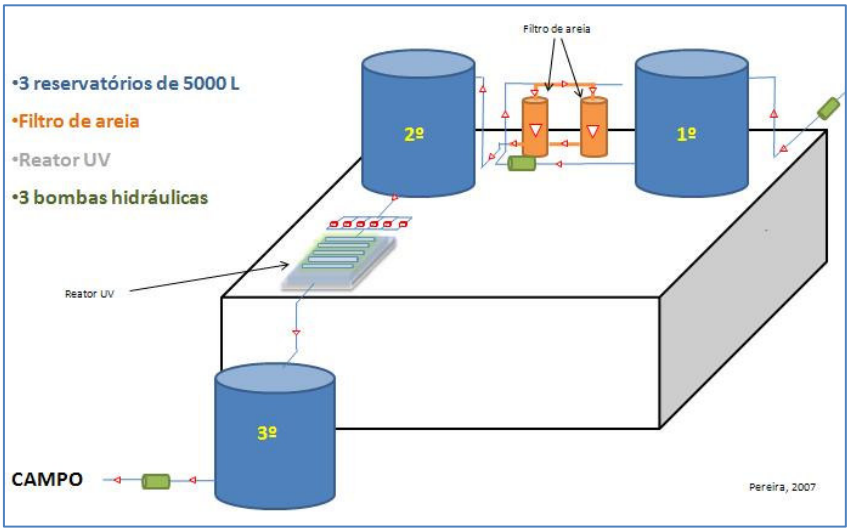

Figura 5 - Esquema do Sistema de Irrigação

3.2 Delineamento experimental

Para avaliar os efeitos da irrigação com esgoto tratado sobre as propriedades físicas e químicas do solo entre os meses de set/07 a set/08, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com parcelas subdivididas no tempo, com cinco tratamentos e três repetições (Figura 6).

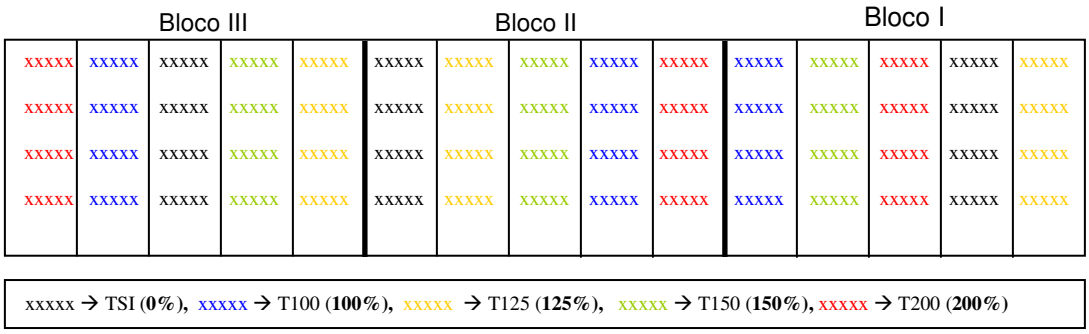

Figura 6 - Croqui do experimento indicando os tratamentos e as repetições

Cada bloco com uma área útil de 100 m de comprimento por 24 m de largura, totalizando 2400 m^2 para cada um dos três blocos, com 100 plantas. Cada parcela possuía 24 m de largura por 20 m de comprimento, contendo 20 plantas.

Os tratamentos foram de aplicação de lâminas crescentes de irrigação com efluente de esgoto tratado, sendo um tratamento controle não irrigado: a) sem irrigação (TSI) com adubação de 50% N mineral; b) 100% da lâmina de irrigação (T100) – umidade do solo na capacidade de campo com adubação de 50% N mineral; c) 125% da lâmina de irrigação (T125) - umidade do solo 25% acima da capacidade de campo com adubação de 50% N mineral; d) 150% da lâmina de irrigação (T150) - umidade do solo 50% acima da capacidade de campo com adubação de 50% N mineral; e) 200% da lâmina de irrigação (T200) – umidade do solo 100% acima da capacidade de campo com adubação de 50% N mineral.

3.3 Tratos culturais

As mudas utilizadas no experimento foram de laranjeira 'Valência' *Citrus sinensis* enxertadas em citrumelo 'Swingle' (*Citrus paradisi* Macf. x *Poncirus trifoliata* Raf), em espaçamento 6 x 4 m, previamente cultivadas em viveiro certificado. Antes do plantio, realizado em fevereiro de 2007, foi aplicado 1,2 t ha^{-1} de $CaCO_3$ (PRNT 70%) baseado nos resultados da análise de solo realizada na camada 0-20 cm afim de caracterização da área experimental (Tabela 5) . Com base na interpretação dos padrões de fertilidade de análise de solo para *Citrus* (Quaggio *et al.*, 2005), distribuiu-se 60 g de P_2O_5 m^{-1} e ainda 500 g m^{-1} de $CaCO_3$ ao longo dos quatro sulcos de plantio.

Tabela 5 - Característica química do solo antes e após a calagem e preparo do solo. Média da camada 0-20 cm

M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S.B	C.T.C	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
g dm^{-3}		mg dm^{-3}		mmol$_c$ dm^{-3}							%	mg dm^{-3}					
Antes da calagem																	
11,0	4,8	11,8	1,5	11,0	5,1	0,0	1,0	19,8	17,6	37,6	46,7	7,1	0,3	1,0	41,4	62,1	1,0
Após a calagem																	
-	5,7	12,6	1,3	14,2	8,6	0,1	0,8	21,6	24,1	45,7	52,7	-	0,3	-	-	-	4,4

As adubações mineirais foram realizadas ao final cada estação do ano com a dose de 50% da sugerida por Quaggio *et al.* (2005) para a cultura da laranja. Os tratos culturais foram realizados de modo a permitir o adequado desenvolvimento e crescimento da plantas.

As plantas foram irrigadas por sistema de linhas duplas de gotejamento com emissores autocompensantes, marca Netafim, modelo RAM, de vazão 2,3 L/h. O manejo da irrigação foi realizado pelo método do tanque Classe A sendo corrigido, quando necessário, pela leitura da umidade do solo realizada semanalmente na bateria de tensiomêtros instalados nas parcelas T100. Os tensiomêtros foram instalados num raio de 40 cm da planta no ponto médio das camadas 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm (Figura 7).

Figura 7 - Disposição dos tensiômetros nas diferentes camadas do solo

3.4 Coleta de amostras: efluente, solo e solução do solo

3.4.1 Efluente

As amostras de efluente de esgoto tratado utilizado na irrigação foram coletadas mensalmente no período de set/07 a set/08. As coletas foram realizadas junto ao reservatório que fornece efluente tratado e desinfectado ao sistema de irrigação do experimento. Após a coleta as amostras foram encaminhadas ao laboratório do Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (Nupegel) / USP onde foram realizadas as leituras de pH e CE (Condutividade Elétrica). Posteriormente, também filtradas em membrana éster de celulose 0,22 µm para serem encaminhadas para análise no ICP (*Plasma Indutivo*) (Tabela 6).

Tabela 6 - Variáveis e metodologias utilizadas nas análises das amostras de efluente e solução do solo

Variáveis	Metodologias
pH, CE, DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio).	pHmetro, condutivímetro digital, DBO_5 e DQO pelo Standard Methods for the examination of water and wastewater (1998)
Ca, Mg, K , Al e Na	Determinado em ICP-OES (Jobin Yvon - JY ULTIMA 2000)

3.4.2 Solo

Inicialmente foram coletadas amostras de solo com o intuito de caracterizar a área experimental. Após o início do experimento (set/2007) as amostras foram coletadas trimestralmente com o auxílio de trado holandês nas profundidades 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Foram coletadas seis subamostras para cada profundidade resultando em uma amostra composta. As amostras foram levadas para a estufa com circulação forçada a 60 °C, após secagem, peneiradas com malha de 2 mm e encaminhadas para o laboratório para serem submetidas às analises físicas e químicas (Tabela 7). As análises físicas foram realizadas no laboratório de física do solo do departamento de engenharia rural da ESALQ/USP. Enquanto as análises químicas no laboratório de química do solo do departamento de ciência do solo da ESALQ/USP.

Tabela 7 - Variáveis e metodologias utilizadas nas análises químicas e físicas das amostras do solo

Variáveis	Metodologias
pH, H+Al	pH em solução $CaCl_2$ (0,01 mol L^{-1}), H + Al em solução tampão SMP (pH 7,0)
Ca, Mg,	Extraídos pelo método da resina trocadora de íons em meio aquoso e determinados em Espectrômetro de Absorção Atômica
Na, K	Na e K foram extraídos por solução Mehlich-1 e quantificados em fotômetro de chama.
Al	O Al^{3+} extraído com KCl (1 mol L^{-1}) e titulação com NaOH
Areia, Silte e Argila (Frações Granulométricas)	Método do densímetro Bouyoucos. Conforme Embrapa (1979)
ADA (Argila Dispersa em Água)	Conforme Embrapa (1979)

3.4.3 Solução do solo

As amostras de solução do solo foram coletadas nas profundidades de 30, 100 e 200 cm através de cápsulas porosas instaladas no solo, com um ângulo de 60° em relação à superfície, abaixo da planta central da área útil de cada uma das parcelas. Para caracterização de todas as estações do ano do período experimental foi realizada a média de três amostragens ao longo de cada estação. Após a coleta as amostras foram encaminhadas ao laboratório do Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfeta (Nupegel) / USP onde foram realizadas as leituras de pH e CE. Posteriormente, foram também filtradas em membrana éster de celulose 0,22 µm (EC) sendo encaminhadas para análise das demais variáveis no ICP (*Plasma Indutivo*) (Tabela 6).

3.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância de acordo com o modelo de experimento de blocos inteiramente casualizados com parcelas subdivididas no tempo. Para a análise estatística, foi utilizado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($p>0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante o emprego do software SAS Versão 9.1.3.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização química do efluente de esgoto tratado utilizado na irrigação

Os resultados da caracterização do efluente de esgoto tratado proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto do Ribeirão Piracicamirim encontram-se na Tabela 8. Para método de comparação foram utilizados valores de referências encontrados em fontes internacionais (PESCOD, 1992; FEIGIN et al.,1991) as quais descrevem a amplitude de variação dos constituintes encontrados. Confrontando os dados percebe-se com clareza que o Efluente de esgoto tratado (EET) não possui concentrações que se equiparam aos valores de referência, exceto para os parâmetros pH, Ca, K, DBO e DQO que se encontram dentro da amplitude dos valores de referência.

Tabela 8 - Resultados da análise de caracterização do efluente de esgoto tratado (média de 12 amostras, coletadas mensalmente entre agosto 2007 a setembro de 2008)

Constituinte	Concentração	SD	Valores de Referência	Fonte
pH	7,22	0,18	6,5 a 8,4	Pescod (1992)
CE (dS m^{-1})	0, 56	0,09	1,0 a 3,1	Pescod (1992)
Ca (mg L^{-1})	15,81	7,42	20 a 120	Feigin et al. (1991)
Mg (mg L^{-1})	6,38	2,07	10 a 50	Feigin et al. (1991)
Na (mg L^{-1})	31,39	11,79	50-250	Feigin et al. (1991)
K (mg L^{-1})	8,96	3,34	10-40	Feigin et al. (1991)
Al (mg L^{-1})	0,04	0,03	5,0	Fatta et al. (2004), USEPA (2004)
RAS (mmol L^{-1})^{0,5}	1,79	0,74	4,5-7,9	Feigin et al. (1991)
DBO (mg L^{-1})	34,80	5,54	10-80	Feigin et al. (1991)
DQO (mg L^{-1})	80,6	13,35	30-160	Feigin et al. (1991)

(1) CE: condutividade elétrica;
(2) DBO: demanda bioquímica de oxigênio;
(3) DQO: demanda química de oxigênio;
(4) RAS: razão de adsorção de sódio (RAS = Na^{+} /[(Ca^{+2} +Mg^{+2})/2]^{0,5});
(5) SD: desvio padrão.

A precipitação pluvial durante o período experimental, 12 meses, foi de 1513,3 mm (Figura 8), valor este superior ao índice pluviométrico anual que é de 1257 mm (SENTELHAS et al., 2000). Considerando as chuvas no período, os volumes irrigados para suprir o déficit hídrico foram de 316,08 mm para o T100; 395,09 mm para o T125; 474,11mm para o T150 e 632,15 para o T200 (Figura 8).

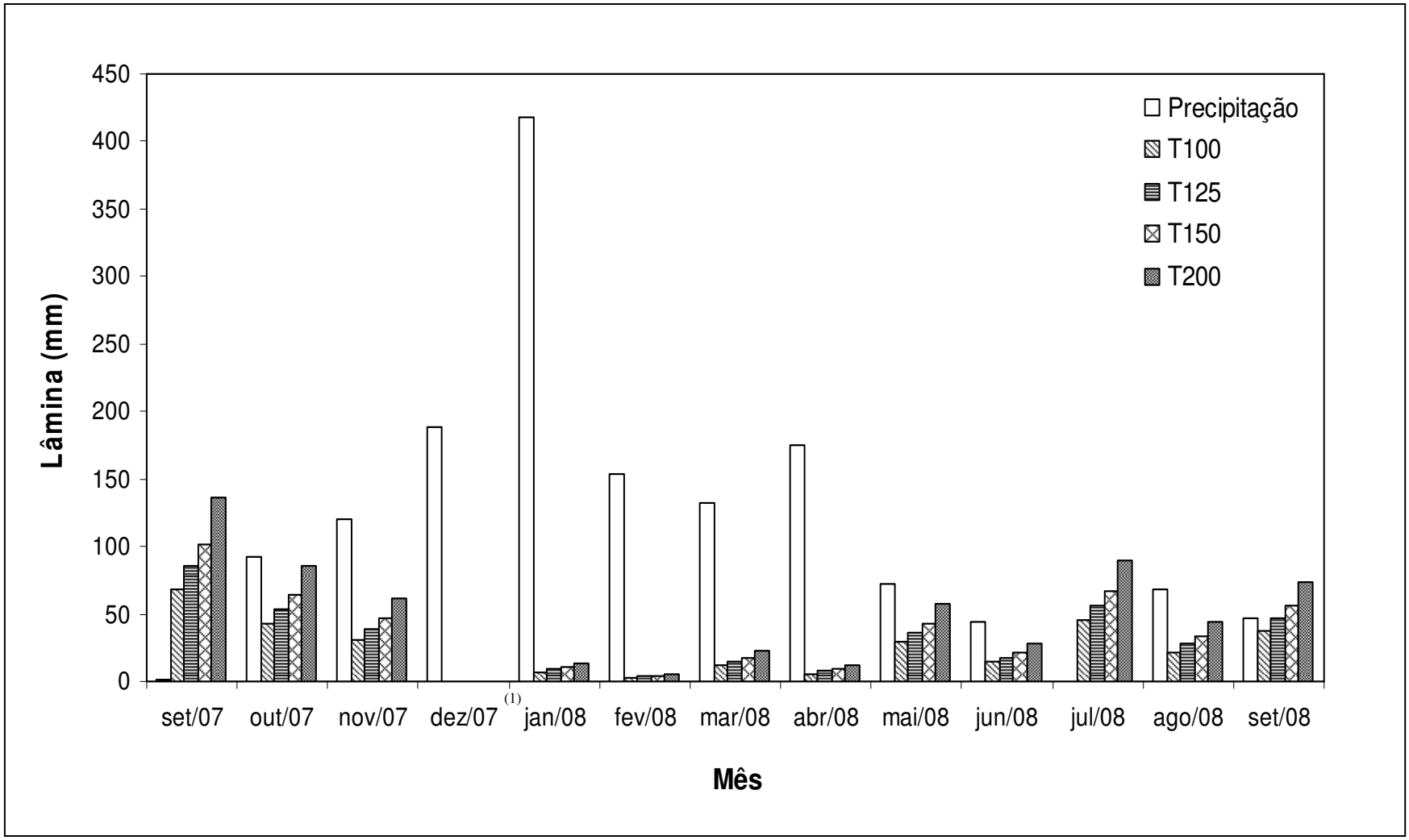

Figura 8 - Lâminas mensais de irrigação complementar e precipitação pluvial no período estudado. T100: irrigação a 100% da capacidade de campo, T125: 125% da capacidade de campo, T150: 150% da capacidade de campo e T200: 200% da capacidade de campo

(1) Sistema de irrigação em manutenção (dez/07)

4.2 Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades químicas do solo

4.2.1 pH (Acidez ativa)

Os tratamentos aplicados não ocasionaram diferenças significativas no pH do solo. Entretanto, houve diferenças significativas em relação às épocas de amostragem, comparando a coleta de set/07 com a set/08, nos valores de pH das camadas 0-10, 10-20, 60-80 e 80-100 cm (Tabela 9). Os maiores valores foram referentes à primeira coleta (set/07), a partir de então, o pH sofreu uma pequena queda até a coleta realizada em jun/08 na qual foram registrados os menores valores. Posteriormente a ligeira acidificação ocorrida entre a primeira e a quarta coleta, os valores de pH da quinta coleta sofreram uma leve alcalinização, apesar de inferiores aos da primeira coleta.

Fonseca (2005) em estudo realizado em área irrigada com efluente de esgoto tratado obteve uma pequena alcalinização do solo durante o experimento, independentemente dos tratamentos de irrigação. Segundo o autor os fatores que contribuem para aumento do pH são: (i) alcalinidade do efluente, (ii) adição de cátions trocáveis e de ânions proveniente do efluente contribuindo no processo de alcalinização dos sítios de troca, (iii) alteração no ciclo do N, adicionando íons OH^- no solo devido ao processo de desnitrificação e/ou redução do NO_3^-.

Aumentos no pH do solo irrigado com efluente de esgoto tratado têm sido relatado previamente em 0,2 unidades (MANCINO e PEPPER, 1992), 0,3 unidades (QIAN e MECHAMM, 2005), 0,8 unidades (SCHIPPER et al., 1996), e 1 unidade (SPARLING et al., 2006). Segundo Schipper (1996) um pequeno aumento do pH do solo é comum em solos irrigados com EET e está provavelmente associado a uma alta taxa de desnitrificação que produziriam íons hidroxila. Hulugalle et al. (2006) em experimento realizado na Austrália constatou que depois da diminuição do pH do solo, entre 2000 e 2001, os valores de pH tiveram ligeiro aumento voltando a alcalinizar o solo. Similar decréscimo no pH relatado por Hulugalle et al. (2002) acredita-se ser causado pelo aumento da taxa mineralização da matéria orgânica do solo, fato este que pode também estar relacionado a pequena acidificação do solo encontrada no presente estudo.

Tabela 9 - Valores do pH $CaCl_2$ do solo irrigado com efluente de esgoto tratado

(continua)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 0-10 cm			
TSI	6,23	5,73	5,54	4,80	5,83	**5,63ª**
T100	6,50	5,74	5,67	5,31	6,19	**5,88ª**
T125	6,30	5,94	5,56	5,28	5,83	**5,78ª**
T150	6,47	5,90	5,56	5,69	6,10	**5,94ª**
T200	6,60	5,96	5,63	5,20	5,87	**5,85ª**
Média	**6,42^{A}**	**5,85^{BC}**	**5,59^{CD}**	**5,26^{D}**	**5,96^{B}**	
			camada 10-20 cm			
TSI	6,50	5,65	5,48	4,79	5,84	**5,65ª**
T100	6,57	5,74	5,30	5,07	6,28	**5,79ª**
T125	6,47	5,94	6,28	4,94	5,85	**5,89ª**
T150	6,50	5,79	5,30	4,88	6,16	**5,73ª**
T200	6,57	5,57	5,26	4,99	6,30	**5,74ª**
Média	**6,52^{A}**	**5,74^{BC}**	**5,52^{C}**	**4,93^{D}**	**6,08^{B}**	
			camada 20-40 cm			
TSI	6,20	4,97	5,08	4,61	5,51	**5,27ª**
T100	6,17	5,11	5,09	4,66	5,87	**5,38ª**
T125	6,00	5,09	4,90	4,60	5,96	**5,31ª**
T150	6,00	5,53	5,07	4,63	6,12	**5,47ª**
T200	6,03	5,40	4,81	4,62	5,96	**5,36ª**
Média	**6,08^{A}**	**5,22^{B}**	**4,99^{B}**	**4,62^{C}**	**5,88^{A}**	
			camada 40-60 cm			
TSI	5,87	4,84	5,01	4,55	5,48	**5,15ª**
T100	6,10	5,06	4,65	4,69	5,46	**5,19ª**
T125	5,73	5,12	4,72	4,60	5,63	**5,16ª**
T150	5,60	5,22	5,03	4,66	5,69	**5,24ª**
T200	5,57	5,13	4,58	4,47	5,69	**5,09ª**
Média	**5,77^{A}**	**5,07^{B}**	**4,80^{C}**	**4,59^{C}**	**5,59^{A}**	

Tabela 9 - Valores do pH $CaCl_2$ do solo irrigado com efluente de esgoto tratado

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 60-80 cm			
TSI	5,90	4,80	5,23	4,85	5,57	**5,27ª**
T100	5,77	4,84	5,03	4,89	5,52	**5,21ª**
T125	5,90	4,81	4,97	4,75	5,71	**5,23ª**
T150	5,97	4,92	5,12	4,83	5,67	**5,30ª**
T200	5,70	4,97	4,87	4,86	5,47	**5,17ª**
Média	**5,85^{A}**	**4,87^{C}**	**5,04^{C}**	**4,83^{C}**	**5,59^{B}**	
			camada 80-100 cm			
TSI	6,20	4,80	5,26	5,05	5,46	**5,35ª**
T100	5,83	4,68	5,13	5,07	5,47	**5,24ª**
T125	5,87	4,94	5,05	4,87	5,42	**5,23ª**
T150	5,80	5,27	5,23	5,03	5,70	**5,41ª**
T200	5,70	5,04	5,00	4,77	5,37	**5,18ª**
Média	**5,88^{A}**	**4,95^{C}**	**5,13^{C}**	**4,96^{C}**	**5,48^{B}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.2.2 H + Al (Acidez potencial)

Os valores de H + Al não sofreram diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, diferiram em toda área experimental com o tempo (Tabela 10). A última amostragem apresentou valores maiores quando comparada a primeira, exceto para as camadas 20-40 e 40-60 cm. Os maiores valores obtidos foram na quarta amostragem para as camadas 0-10, 10-20 20-40 cm e na a segunda amostragem para as camadas, 60-80 e 80-100 cm. Em síntese, podemos afirmar que os valores de H + Al variaram em duas etapas. A primeira etapa entre set/07 e mar/07 e a segunda entre mar/07 e set/08, ambas sofrendo aumento dos valores de H + Al seguido de diminuição dos mesmos. O ligeiro aumento pode estar relacionado com a matéria orgânica presente no solo e também pela relação inversamente proporcional com o pH do solo (Tabela 8).

Segundo Tomé Jr. (1997) o aumento da ocupação de cátions H^+, considerado potencialmente tóxico, na Capacidade de Troca de Cátions (CTC) ocasiona o empobrecimento do solo (distrofia). A acidez potencial é definida pela soma da acidez trocável com os íons H^+ não trocáveis, sendo presos por ligações covalentes e somente retirados por neutralização (reação com OH^-, formando água). Estes íons se encontram em equilíbrio com os íons da solução e, portanto, quando há uma elevação do pH da solução, os íons passam para a solução com a finalidade de manter o pH da solução constante.

Tabela 10 - Valores de H + Al do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$) irrigado com efluente de esgoto

(continuação)

Tratamento	**Época de Amostragem**					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 0-10 cm			
TSI	8,90	16,25	13,89	25,15	11,50	**15,14ª**
T100	8,15	15,38	12,41	17,59	9,74	**12,65ª**
T125	8,72	12,52	11,82	16,72	11,47	**12,25ª**
T150	8,74	13,84	11,27	17,71	9,03	**12,12**
T200	7,85	12,25	10,60	14,38	12,02	**11,42ª**
Média	**8,47^{D}**	**14,05^{B}**	**12,00^{BC}**	**18,31^{A}**	**10,75^{CD}**	
			camada 10-20 cm			
TSI	9,98	14,89	10,32	18,76	12,02	**13,19ª**
T100	9,66	14,27	13,77	16,17	9,18	**12,61ª**
T125	9,88	11,44	14,81	18,13	11,75	**13,20ª**
T150	8,70	13,66	13,58	17,49	8,41	**12,37ª**
T200	8,15	15,39	14,41	15,79	10,22	**12,79ª**
Média	**9,28^{D}**	**13,93^{AB}**	**13,38^{BC}**	**17,27^{A}**	**10,32^{CD}**	
			camada 20-40 cm			
TSI	13,08	20,79	14,85	18,12	13,91	**16,15ª**
T100	13,08	18,72	17,17	18,14	11,78	**15,78ª**
T125	11,67	19,30	16,82	18,66	10,66	**15,42ª**
T150	12,71	15,04	14,32	17,35	10,06	**13,89ª**
T200	11,43	15,94	16,32	19,48	11,08	**14,85ª**
Média	**12,39^{B}**	**17,96^{A}**	**15,90^{A}**	**18,35^{A}**	**11,50^{B}**	

Tabela 10 - Valores de H + Al do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$) irrigado com efluente de esgoto

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 40-60 cm			
TSI	13,18	21,01	13,56	16,02	13,11	**15,38ª**
T100	14,76	16,89	15,86	15,59	11,03	**14,83ª**
T125	13,78	16,94	16,08	16,81	9,37	**14,60ª**
T150	13,41	16,04	13,41	15,31	12,77	**14,19ª**
T200	13,71	16,25	15,90	13,45	12,52	**14,36ª**
Média	**13,77^{BC}**	**17,43^{A}**	**14,96^{AB}**	**15,44^{AB}**	**11,76^{C}**	
			Camada 60-80 cm			
TSI	9,48	19,32	12,03	13,48	11,51	**13,16ª**
T100	11,07	18,19	12,24	12,18	12,63	**13,26ª**
T125	10,50	17,78	11,41	12,99	12,11	**12,96ª**
T150	11,24	17,83	11,93	12,36	11,25	**12,92ª**
T200	11,67	15,48	13,35	12,77	12,51	**13,16ª**
Média	**10,79^{B}**	**17,72^{A}**	**12,19^{B}**	**12,76^{B}**	**12,00^{B}**	
			Camada 80-100 cm			
TSI	7,92	18,22	10,81	12,17	11,93	**12,21ª**
T100	9,44	20,39	11,63	12,59	11,05	**13,02ª**
T125	9,65	17,30	12,63	12,22	11,44	**12,65ª**
T150	10,06	14,16	11,80	13,24	10,80	**12,01ª**
T200	11,14	15,18	12,46	13,97	12,23	**13,00ª**
Média	**9,64^{D}**	**17,05^{A}**	**11,87^{BC}**	**12,84^{B}**	**11,49^{BC}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.2.3 Alumínio trocável

Quanto aos teores de Al trocável ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos na camada 40-60 cm (Tabela 11). O TSI desta camada apresentou um acúmulo significativo de Al quando comparado com os demais tratamentos.

No entanto, as camadas 60-10,60-80 e 80-100 cm também apresentaram um acúmulo maior, embora não significativo, no tratamento sem irrigação.

Confrontando os dados obtidos com indicações encontradas na literatura de que teores de que até 5 $mmol_c$/ dm^3 são considerados baixos, podemos inferir que o uso do EET não oferece risco de acumulo de Al no solo e conseqüentemente redução da fertilidade do solo e/ou toxidez as plantas.

Tabela 11 - Concentrações de alumínio trocável do solo ($mmol_c$ kg^{-1})

(continua)

Tratamento	**Época de Amostragem**					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 0-10 cm			
TSI	0,77	1,03	1,07	0,97	1,70	**1,11ª**
T100	0,73	1,23	1,03	0,73	0,97	**0,94ª**
T125	0,80	0,93	0,90	0,73	0,97	**0,87ª**
T150	0,77	1,03	0,90	0,53	1,00	**0,85ª**
T200	0,70	0,90	0,83	0,30	0,97	**0,74ª**
Média	**0,75^{BC}**	**1,03^{A}**	**0,95^{AB}**	**0,65^{C}**	**1,12^{A}**	
			camada 10-20 cm			
TSI	0,73	1,37	1,03	0,43	0,97	**0,91ª**
T100	0,97	0,97	1,00	0,57	0,90	**0,88ª**
T125	0,73	1,00	1,03	0,43	0,90	**0,82ª**
T150	0,73	1,07	1,50	0,73	0,73	**0,95ª**
T200	0,80	1,13	0,93	0,60	1,00	**0,89ª**
Média	**0,79^{BC}**	**1,11^{A}**	**1,10^{A}**	**0,55^{C}**	**0,90^{AB}**	
			camada 20-40 cm			
TSI	0,70	1,47	1,03	0,70	0,83	**0,95ª**
T100	0,73	1,40	1,47	1,17	0,90	**1,13ª**
T125	0,73	1,67	1,33	0,93	1,00	**1,13ª**
T150	0,73	0,80	1,20	1,07	1,10	**0,98ª**
T200	0,80	3,00	1,33	0,87	0,93	**1,39ª**
Média	**0,74^{B}**	**1,67^{A}**	**1,27^{AB}**	**0,95^{AB}**	**0,95^{AB}**	
			camada 40-60 cm			
TSI	0,93	1,53	1,63	0,67	1,03	**1,16ª**
T100	0,80	0,83	1,50	0,37	0,87	**0,87^{b}**
T125	0,77	0,83	1,40	0,73	0,93	**0,93^{b}**
T150	0,73	0,90	1,40	0,77	1,07	**0,97^{b}**
T200	0,77	0,93	1,50	0,73	1,07	**1,00^{ab}**
Média	**0,80^{BC}**	**1,61^{B}**	**1,49^{A}**	**0,65^{C}**	**0,99^{B}**	

Tabela 11- Concentrações de alumínio trocável do solo ($mmol_c.Kg^{-1}$)

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 60-80 cm			
TSI	0,70	3,40	1,73	0,53	0,87	**1,45ª**
T100	0,77	1,83	1,43	0,50	0,83	**1,07ª**
T125	0,70	1,53	1,60	0,47	0,77	**1,01ª**
T150	0,73	1,33	1,47	0,57	0,67	**0,95ª**
T200	0,73	1,20	1,53	0,53	0,80	**0,96ª**
Média	**0,73^{BC}**	**1,86^{A}**	**1,55^{AB}**	**0,52^{C}**	**0,79^{BC}**	
			camada 80-100 cm			
TSI	0,97	1,37	1,47	0,53	0,80	**1,03ª**
T100	0,73	1,87	1,67	0,53	0,73	**1,11ª**
T125	0,73	1,50	1,60	0,37	0,83	**1,01ª**
T150	0,77	1,17	1,87	0,40	0,70	**0,98ª**
T200	0,73	1,07	1,17	0,63	0,97	**0,91ª**
Média	**0,79^{B}**	**1,39^{A}**	**1,55^{A}**	**0,49^{B}**	**0,81^{B}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P< 0,05$).

4.2.4 Sódio trocável

Os tratamentos aplicados ocasionaram diferenças significativas nos teores de Na trocável em todas as camadas exceto para a camada 40-60 cm (Tabela 12). Em todas as camadas, os valores dos tratamentos irrigados com EET foram maiores quando comparados com o tratamento TSI que não recebeu efluente. Isso resulta no aumento nos teores de Na no complexo de troca do solo irrigado com EET contendo inerentemente uma alta concentração desse elemento. Houve também diferenças nos valores de Na com relação às épocas de amostragem (Tabela 12). O teor de Na trocável aumentou com o tempo em todos os tratamentos da área experimental.

Na literatura muitos autores observaram aumento nos teores de Na trocável no solo (BOND, 1998; GAZZAZ, 1999; YOON, 2001; YADAV et al., 2002; FONSECA,

2005; LUCENA et al., 2006; LEAL, 2007; GWENZI e MUNONDO, 2008), reafirmando a importância do monitoramento do Na nas camadas do solo a fim de evitar a salinização e conseqüentemente a defloculação de argilas e diminuição da condutividade hidráulica do solo.

Menner et al. (2001) notou que efluentes ricos em Na^+, além das conseqüências acima citadas, podem também ocasionar dissoluções da matéria orgânica do solo. Potts & Ellwood (2000) sugerem o monitoramento da capacidade de troca catiônica (CTC) em solos com aplicação de altos teores de sódio, pelo fato de solos com alta CTC (alto potencial de retenção de cátions) serem menos suscetíveis a degradação estrutural.

Tabela 12 - Concentrações de sódio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$)

(continua)

Tratamento	**Época de Amostragem**					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 0-10 cm			
TSI	0,11	0,44	0,37	0,34	0,34	**0,32^{b}**
T100	0,13	0,47	0,57	0,74	1,84	**0,75^{a}**
T125	0,12	0,54	0,57	0,50	1,94	**0,74^{a}**
T150	0,13	0,60	0,57	0,64	1,64	**0,72^{a}**
T200	0,13	0,54	0,60	0,60	1,98	**0,77^{a}**
Média	**0,12^{C}**	**0,52^{B}**	**0,54^{B}**	**0,56^{B}**	**1,55^{A}**	
			camada 10-20 cm			
TSI	0,11	0,54	0,27	0,23	0,13	**0,26^{c}**
T100	0,11	0,74	0,50	0,60	1,58	**0,71^{b}**
T125	0,12	0,77	0,50	0,40	1,98	**0,75^{ab}**
T150	0,12	0,91	0,50	0,50	1,78	**0,76^{ab}**
T200	0,11	0,91	0,50	0,67	2,18	**0,87^{a}**
Média	**0,11^{D}**	**0,77^{B}**	**0,46^{C}**	**0,48^{C}**	**1,53^{A}**	
			camada 20-40 cm			
TSI	0,11	0,57	0,23	0,23	0,20	**0,27^{b}**
T100	0,11	1,17	0,30	0,47	1,54	**0,72^{a}**
T125	0,12	0,97	0,37	0,37	1,54	**0,67^{a}**
T150	0,11	1,24	0,44	0,47	1,51	**0,75^{a}**
T200	0,12	1,01	0,47	0,47	1,88	**0,79^{a}**
Média	**0,11^{D}**	**0,99^{B}**	**0,36^{C}**	**0,40^{C}**	**1,33^{A}**	

Tabela 12 - Concentrações de sódio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$)

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 40-60 cm			
TSI	0,10	1,04	0,97	0,23	0,13	**0,50ª**
T100	0,11	1,07	1,27	0,60	0,77	**0,77ª**
T125	0,11	1,24	0,30	0,40	1,11	**0,63ª**
T150	0,11	0,97	0,47	0,57	0,70	**0,57ª**
T200	0,12	1,24	0,44	0,54	1,21	**0,71ª**
Média	**0,11^{C}**	**1,11^{A}**	**0,69^{AB}**	**0,47^{B}**	**0,78^{AB}**	
			camada 80-100 cm			
TSI	0,10	0,50	0,23	0,27	0,13	**0,25^{b}**
T100	0,11	0,77	0,40	0,70	0,34	**0,47ª**
T125	0,11	1,11	0,30	0,40	0,34	**0,45ª**
T150	0,11	1,01	0,37	0,50	0,24	**0,44ª**
T200	0,11	1,07	0,34	0,54	0,44	**0,50ª**
Média	**0,11^{D}**	**0,89^{A}**	**0,33^{C}**	**0,48^{B}**	**0,30^{C}**	
			camada 80-100 cm			
TSI	0,10	0,50	0,23	0,27	0,13	**0,25^{b}**
T100	0,11	0,77	0,40	0,70	0,34	**0,47ª**
T125	0,11	1,11	0,30	0,40	0,34	**0,45ª**
T150	0,11	1,01	0,37	0,50	0,24	**0,44ª**
T200	0,11	1,07	0,34	0,54	0,44	**0,50ª**
Média	**0,11^{D}**	**0,89^{A}**	**0,33^{C}**	**0,48^{B}**	**0,30^{C}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.2.5 Potássio trocável

No que se refere ao K trocável não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados com esgoto tratado (Tabela 13). No entanto, comparando os valores dos TSI nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm com os demais tratamentos, nota-se que os valores do tratamento não irrigado são maiores que os irrigados. Essa situação também encontrada por Leal (2007) parece estar relacionada com a elevada contribuição de Na -via efluente- que favorece o deslocamento do K no complexo de

troca. A liberação de K entre camadas aumenta quando a concentração da solução do solo de K e/ou K^+ trocável diminuem devido à lixiviação e absorção pelas plantas (OGAARD e KROGSTAD, 2005; ASKEGAARD e ERIKSEN, 2000).

Conforme exposto por Fonseca (2005) e Leal (2007) as concentrações de K na literatura se mostram divergentes, devido à dinâmica deste nutriente no sistema solo-planta-efluente. Exemplificando, Gwenzi e Munondo (2008) e Azevedo (2006) encontraram altas concentrações de K trocável no solo irrigado com efluente tratado contradizendo os baixos resultados obtido por Tood (1980).

Comparando as épocas de amostragem foi observado um aumento significativo nos valores de K trocável entre a primeira e a ultima amostragem. Provavelmente este fato deve-se a adubação de cobertura realizada periodicamente com KCl. Segundo Feigin et al. (1991), a irrigação com efluente não satisfaz as necessidades das culturas por K, porém pode promover o aumento dos teores no solo, como ocorreu significativamente no presente trabalho (Tabela 13).

Tabela 13 - Concentrações de potássio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$)

(continua)

Tratamento	**Época de Amostragem**					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 0-10 cm			
TSI	1,45	1,77	2,51	2,69	3,72	**2,43ª**
T100	1,41	2,12	2,44	2,53	2,91	**2,28ª**
T125	1,42	1,76	2,32	2,81	2,73	**2,21ª**
T150	1,53	2,22	2,29	2,64	2,75	**2,28ª**
T200	1,25	2,41	2,29	2,76	2,61	**2,26ª**
Média	**1,41^{C}**	**2,06^{B}**	**2,37^{AB}**	**2,68^{A}**	**2,94^{A}**	
			camada 10-20 cm			
TSI	1,03	1,02	2,05	2,64	1,97	**1,74ª**
T100	1,03	0,83	2,10	2,45	1,53	**1,59ª**
T125	1,00	0,86	1,81	2,08	1,53	**1,46ª**
T150	1,12	1,00	1,76	1,95	1,49	**1,46ª**
T200	0,74	0,84	2,05	2,58	1,48	**1,54ª**
Média	**0,98^{D}**	**0,91^{D}**	**1,96^{B}**	**2,34^{A}**	**1,60^{C}**	

Tabela 13 - Concentrações de potássio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$)

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 20-40 cm			
TSI	0,71	0,67	1,25	1,95	1,45	**1,21ª**
T100	0,64	0,50	1,32	1,89	1,08	**1,09ª**
T125	0,77	0,53	1,58	1,36	1,30	**1,11ª**
T150	0,79	0,57	1,10	1,72	1,30	**1,10ª**
T200	0,79	0,50	1,47	1,74	1,48	**1,20ª**
Média	**0,74^{C}**	**0,55^{C}**	**1,35^{B}**	**1,73^{A}**	**1,32^{B}**	
			camada 40-60 cm			
TSI	0,64	0,34	0,74	1,10	1,02	**0,77ª**
T100	0,52	0,41	0,81	1,43	0,95	**0,83ª**
T125	0,50	0,40	0,88	0,78	1,08	**0,73ª**
T150	0,60	0,40	1,30	1,26	1,16	**0,94ª**
T200	0,48	0,31	0,95	1,17	1,22	**0,83ª**
Média	**0,55^{B}**	**0,37^{B}**	**0,94^{A}**	**1,15^{A}**	**1,09^{A}**	
			camada 60-80 cm			
TSI	0,28	0,34	0,81	0,62	0,59	**0,53ª**
T100	0,30	0,31	0,54	0,83	0,72	**0,54ª**
T125	0,34	0,33	0,73	0,48	1,06	**0,59ª**
T150	0,43	0,40	0,56	0,83	0,81	**0,60ª**
T200	0,38	0,31	0,73	0,72	0,87	**0,60ª**
Média	**0,34^{B}**	**0,34^{B}**	**0,67^{A}**	**0,70^{A}**	**0,81^{A}**	
			camada 80-100 cm			
TSI	0,28	0,22	1,12	0,76	0,57	**0,59ª**
T100	0,28	0,29	0,47	0,59	0,54	**0,44ª**
T125	0,27	1,07	0,58	0,90	0,67	**0,69ª**
T150	0,28	0,40	0,46	0,60	0,67	**0,48ª**
T200	0,27	0,31	0,38	0,90	0,72	**0,51ª**
Média	**0,28^{B}**	**0,46^{AB}**	**0,60^{AB}**	**0,75^{A}**	**0,63^{AB}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.2.6 Cálcio trocável

Os tratamentos aplicados apresentaram diferenças significativas nas camadas 0-10, 10-20 e 60 a 80 cm (Tabela 14).

Em relação às épocas de amostragem ocorreram diferenças entre set/07 a set/08 (Tabela 14). Nas camadas até a profundidade 40 cm os valores de Ca trocável diminuíram, enquanto que nas camadas mais profundas os teores aumentaram. A diminuição nos valores de Ca trocável, nas camadas superficiais, ocorreu devido à migração no complexo de troca do Ca^+ do solo para a solução, a fim de suprir o cálcio solúvel absorvido pelas raízes das plantas (Tabela 22). A maioria dos estudos encontrados na literatura mostra que a maior parte das raízes de *Citrus* se encontra na faixa de 30 cm de profundidade, fator esse, importante na absorção de nutrientes pelas plantas nas camadas superficiais (Tabela 23).

Leal (2006), e Gloaguem et al. (2007) relataram diminuição nos teores de Ca trocável nas camadas superficiais e aumento nas camadas mais profundas, resultado similar também foi encontrado no presente estudo. A maior concentração desse elemento nas camadas subsuperficiais provavelmente deve ser resultado da lixiviação e arrasto do Ca para camadas mais profundas (LEAL, 2006). Alguns estudos têm apresentado aumento nos valores de Ca trocável no solo irrigado com EET (JOHNS & McCONCHIE, 1994; HULUGALLE et al., 2005; GAZZAZ, 1999; FALKINER e SMITH, 1997; ORTEGA-LARROCEA et al., 2001; HULUGALLE et al., 2005; AZEVEDO, 2006) enquanto outros demonstraram decréscimo do elemento (FONSECA, 2005; PALIWAL et al.,1998).

Tabela 14 - Concentrações de cálcio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$)

(continua)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 0-10 cm			
TSI	39,00	23,46	22,53	20,80	26,39	**26,44^{ab}**
T100	42,47	31,45	35,10	29,03	34,71	**34,55^{a}**
T125	29,90	30,23	25,57	13,87	25,65	**25,04^{b}**
T150	33,80	32,64	21,23	19,50	30,33	**27,50^{ab}**
T200	27,30	27,98	29,03	16,90	25,61	**25,37^{b}**
Média	**34,49^{A}**	**29,15^{AB}**	**26,69^{BC}**	**20,02^{C}**	**28,54^{AB}**	
			camada 10-20 cm			
TSI	38,35	17,24	19,93	12,57	26,35	**22,89^{b}**
T100	52,43	18,84	25,13	15,60	33,32	**29,07^{a}**
T125	33,37	22,30	23,83	13,00	26,17	**23,74^{b}**
T150	31,20	22,96	17,77	12,13	28,30	**22,47^{b}**
T200	38,57	20,51	18,63	12,57	25,05	**23,07^{b}**
Média	**38,78^{A}**	**20,37^{B}**	**21,06^{BC}**	**13,17^{BC}**	**27,84^{C}**	
			camada 20-40 cm			
TSI	45,93	13,32	12,13	8,23	20,63	**20,05^{a}**
T100	29,47	11,71	8,67	8,67	18,76	**15,45^{a}**
T125	40,30	16,54	9,97	7,80	21,80	**19,28^{a}**
T150	23,83	15,08	9,53	8,67	26,26	**16,68^{a}**
T200	23,83	12,64	9,53	6,50	20,45	**14,59^{a}**
Média	**32,67^{A}**	**13,86^{BC}**	**9,97^{BC}**	**7,97^{C}**	**21,58^{AB}**	
			camada 40-60 cm			
TSI	8,23	10,17	8,23	7,80	15,04	**9,89^{a}**
T100	6,93	8,26	13,00	8,67	12,83	**9,94^{a}**
T125	10,40	10,16	8,67	8,23	16,64	**10,82^{a}**
T150	6,07	8,20	7,37	8,23	15,30	**9,03^{a}**
T200	10,83	8,84	7,37	9,53	13,48	**10,01^{a}**
Média	**8,49^{B}**	**9,13^{B}**	**8,93^{B}**	**8,49^{B}**	**14,66^{A}**	
			camada 60-80 cm			
TSI	10,40	11,29	8,23	8,67	12,22	**10,16^{a}**
T100	6,50	9,52	6,50	8,67	10,70	**8,38^{ab}**
T125	6,93	10,16	6,50	7,15	11,87	**8,52^{ab}**
T150	7,80	9,05	7,37	7,37	11,31	**8,58^{ab}**
T200	5,20	8,58	7,37	7,37	10,05	**7,71^{b}**
Média	**7,37^{B}**	**9,72^{A}**	**7,19^{B}**	**7,84^{B}**	**11,23^{A}**	

Tabela 14 - Concentrações de cálcio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$)

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 80-100 cm			
TSI	20,80	7,87	8,23	6,50	11,18	**10,92ª**
T100	7,37	8,60	7,80	6,93	10,14	**8,17ª**
T125	6,07	8,12	8,23	5,63	10,36	**7,68ª**
T150	5,63	8,34	10,40	5,20	11,96	**8,31ª**
T200	5,63	8,15	9,10	6,50	10,27	**7,93ª**
Média	**9,10^{A}**	**8,22^{A}**	**8,75^{A}**	**6,15^{A}**	**10,78^{A}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P< 0,05).

4.2.7 Magnésio trocável

Os tratamentos aplicados não ocasionaram diferenças significativas nos teores de Mg trocável do solo. Houve apenas diferenças nos valores com relação às épocas de amostragem (Tabela 15). Foi observada uma diminuição nos valores obtidos entre a primeira e a ultima amostragem, exceto para a camada 80-100 cm. Em geral, os valores das camadas de 0 a 80 cm diminuíram após nove meses de irrigação - jul/08 - sofrendo um ligeiro aumento até a última amostragem, apesar de inferiores a primeira. Diferentemente das demais camadas, a camada de 80-100 cm, apresentou aumento do Mg trocável entre as amostragem de set/07 a set/08.

A diminuição dos teores de Mg trocável no solo está diretamente associada ao nível de acidez do solo (TOMÉ Jr.,1997). No presente trabalho foi observada uma relação diretamente proporcional entre a diminuição dos valores de pH (Tabela 9) e o decréscimo nos valores de Mg trocável no solo, concordando com a literatura.

O monitoramento da concentração de Mg trocável no solo é de grande importância, pois elevadas concentrações deste íon no complexo de troca geram um maior potencial de lixiviação devido a sua menor energia de retenção (ROSOLEM, 1988).

Tabela 15 - Concentrações de magnésio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$)

(continua)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 0-10 cm			
TSI	32,93	13,63	12,57	12,13	15,67	**17,39ª**
T100	33,80	20,14	18,98	11,27	17,93	**20,42ª**
T125	25,13	16,68	13,87	9,10	10,47	**15,05ª**
T150	27,73	19,49	11,27	9,53	14,97	**16,60ª**
T200	19,50	15,92	15,17	7,80	12,13	**14,10ª**
Média	**27,82^{A}**	**17,17^{B}**	**14,37^{B}**	**9,97^{C}**	**14,23^{B}**	
			camada 10-20 cm			
TSI	26,00	10,86	11,70	6,07	10,93	**13,11ª**
T100	35,53	10,74	11,70	8,23	19,10	**17,06ª**
T125	23,40	13,91	9,10	6,50	11,70	**12,92ª**
T150	24,27	11,39	11,27	6,07	12,70	**13,14ª**
T200	30,77	10,82	8,23	6,07	10,53	**13,28ª**
Média	**27,99^{A}**	**11,54^{BC}**	**10,40^{BC}**	**6,59^{C}**	**12,99^{B}**	
			camada 20-40 cm			
TSI	24,70	5,51	7,80	5,20	9,30	**10,50ª**
T100	14,73	8,39	6,50	5,20	8,60	**8,69ª**
T125	22,53	8,85	6,50	4,33	8,83	**10,21ª**
T150	12,13	8,36	6,50	5,20	7,33	**7,91ª**
T200	15,60	8,70	5,63	3,90	7,27	**8,22ª**
Média	**17,94^{A}**	**7,96^{B}**	**6,59^{B}**	**4,77^{B}**	**8,27^{B}**	
			camada 40-60 cm			
TSI	7,37	6,13	6,07	5,20	7,13	**6,38ª**
T100	6,50	5,73	5,20	4,77	5,07	**5,45ª**
T125	8,67	5,97	5,20	4,33	5,47	**5,93ª**
T150	6,93	6,36	6,07	4,77	6,30	**6,08ª**
T200	13,00	5,69	4,33	4,33	4,77	**6,43ª**
Média	**8,49^{A}**	**5,98^{AB}**	**5,37^{AB}**	**4,68^{B}**	**5,75^{AB}**	
			camada 60-80 cm			
TSI	6,07	6,26	5,20	4,33	6,17	**5,60ª**
T100	5,63	5,60	5,20	5,63	5,30	**5,47ª**
T125	6,93	5,70	4,77	4,55	5,43	**5,48ª**
T150	7,80	5,70	5,63	4,77	6,17	**6,01ª**
T200	5,20	5,50	4,77	4,33	5,23	**5,01ª**
Média	**6,33^{A}**	**5,75^{AB}**	**5,11^{AB}**	**4,72^{B}**	**5,66^{AB}**	

Tabela 15 - Concentrações de magnésio trocável do solo ($mmol_c\ kg^{-1}$)

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 80-100 cm			
TSI	5,20	4,32	5,63	3,90	5,97	**5,00ª**
T100	5,20	4,53	4,77	3,90	4,87	**4,65ª**
T125	5,20	5,10	5,20	3,47	5,23	**4,84ª**
T150	5,63	5,43	6,07	3,90	6,03	**5,41ª**
T200	4,33	4,68	4,77	5,63	5,00	**4,88ª**
Média	**5,11^{AB}**	**4,81^{AB}**	**5,29^{A}**	**4,16^{B}**	**5,42^{A}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.3 Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades físicas do solo

4.3.1 Dispersão de argilas

Os percentuais do grau de dispersão de argila (GD) não sofreram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 16). Entretanto, comparando os valores obtidos entre primeira e a ultima amostragem foram observadas diferenças estatísticas apenas para a camada 80-100 cm. Em geral o GD aumentou entre a amostragem de set/07 a set/08 para todas as camadas (exceto para a camada 0-10 cm), apesar de não ser estatisticamente significativo.

Alguns estudos têm relacionado à dispersão de argila como resultado do aumento do percentual de sódio trocável (PST) juntamente com o decréscimo da concentração eletrolítica da solução do solo (FRENKEL et al., 1978; PUPISKY e SHAINBERG, 1979; SHAINBERG e LETEY, 1984; BALKS et al., 1998). Nesse contexto, podemos concluir que o aumento do GD ao longo do tempo, apesar de não significativo, se deu devido ao aumento do PST (Tabela 17) e à diminuição da CE da solução do solo.

Tabela 16 - Grau de Dispersão (GD) das argilas do solo

(continua)

Tratamento	**Época de Amostragem**					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			***camada 0-10 cm* (%)**			
TSI	47,16	41,90	41,17	26,12	40,25	**39,32ª**
T100	47,14	46,65	49,69	28,65	44,37	**43,30ª**
T125	44,25	49,42	43,86	27,00	40,51	**41,01ª**
T150	51,29	35,61	31,23	23,34	43,65	**37,02ª**
T200	41,88	50,39	34,65	43,75	39,38	**42,01ª**
Média	**46,34^{A}**	**44,79^{A}**	**40,12^{AB}**	**29,77^{B}**	**41,63^{AB}**	
			***camada 10-20 cm* (%)**			
TSI	29,57	51,17	50,55	14,15	27,76	**34,64ª**
T100	42,86	43,65	50,37	24,60	37,62	**39,82ª**
T125	36,29	40,22	43,83	24,98	46,69	**38,40ª**
T150	20,07	42,49	33,78	17,19	34,74	**29,66ª**
T200	32,35	37,10	38,43	17,89	25,80	**30,31ª**
Média	**32,23^{AB}**	**42,93^{A}**	**43,39^{A}**	**19,76^{B}**	**34,52^{AB}**	

Tabela 16 - Grau de Dispersão (GD) das argilas do solo.

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			***Camada 20-40 cm* (%)**			
TSI	12,81	40,80	29,05	9,46	22,20	**22,86ª**
T100	11,56	21,32	13,39	11,08	19,02	**15,28ª**
T125	11,95	26,23	18,07	13,96	17,22	**17,49ª**
T150	24,08	38,10	14,09	15,24	14,38	**21,18ª**
T200	15,00	32,15	13,27	16,10	28,73	**21,05ª**
Média	**15,08^{B}**	**31,72^{A}**	**17,57^{AB}**	**13,17^{B}**	**20,31^{AB}**	
			***Camada 40-60 cm* (%)**			
TSI	21,15	14,33	8,58	14,14	14,54	**14,55ª**
T100	11,02	14,25	9,35	13,01	14,68	**12,46ª**
T125	9,04	20,77	14,54	7,86	19,04	**14,25ª**
T150	9,30	18,83	9,18	7,76	13,65	**11,74ª**
T200	11,34	18,36	8,20	8,09	13,95	**11,99ª**
Média	**12,37^{BC}**	**17,31^{A}**	**9,97^{C}**	**10,17^{C}**	**15,17^{AB}**	
			***Camada 60-80 cm* (%)**			
TSI	8,69	17,17	7,83	7,82	13,44	**10,99ª**
T100	8,80	18,28	8,18	8,22	13,67	**11,43ª**
T125	8,97	28,18	7,44	7,82	12,56	**12,99ª**
T150	10,10	17,89	9,00	8,17	13,06	**11,64ª**
T200	9,63	14,72	7,98	9,80	13,02	**11,03ª**
Média	**9,24^{BC}**	**19,25^{A}**	**8,09^{C}**	**8,37^{C}**	**13,15^{B}**	
			***Camada 80-100 cm* (%)**			
TSI	8,85	14,74	7,79	9,63	13,31	**10,86ª**
T100	10,00	15,72	7,74	9,88	13,81	**11,43ª**
T125	10,69	14,68	9,82	9,95	13,96	**11,82ª**
T150	9,12	14,83	8,29	9,52	15,04	**11,36ª**
T200	10,06	15,39	8,17	10,19	14,21	**11,60ª**
Média	**9,74^{B}**	**15,07^{A}**	**8,36^{C}**	**9,83^{B}**	**14,07^{A}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
GD (Grau de Dispersão de Argilas) = Argila Dispersa em Água *100/Argila Total
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P< 0,05).

4.3.2 Percentual de Sódio Trocável (PST)

O percentual de sódio trocável (PST) aumentou significativamente com o tempo entre a primeira e a ultima amostragem (Tabela 17). O efeito dos tratamentos sobre o PST foi evidenciado significativamente em todas as camadas para o TSI.

Foi observado aumento do PST entre os tratamentos, particularmente em relação ao tratamento não irrigado que resultou nos menores valores para todas as camadas. Em conseqüência ocorreu a sodificação do solo das áreas irrigadas, concordando com Yadav et al. (2002), Santos (2004) e Lucena et al. (2006). Os menores valores de PST encontrados no TSI possuem relação direta com os baixos valores de Na Trocável (Tabela 12) obtidos nesse mesmo tratamento.

A equipe do laboratório de salinidade dos EUA (1954) determinou que valores de PST > 15% podem causar efeitos prejudiciais à estrutura do solo, apesar de em solos Australianos, Mcintrye (1979) sugere uma PST ≥ 5%. Os diferentes PST se explicam baseado nas medidas de condutividade hidráulica de águas com diferentes tipos de concentração eletrolítica (3-10 $mmol_c\ L^{-1}$ e <0.7 $mmol_c\ L^{-1}$, respectivamente). Para solos argilosos, Sumner (1995) sugere o PST crítico para 10%. PST e salinidade geralmente aumentam em solos irrigados (FRENKEL et al. 1978).

Stewart et al. (1990) registrou um aumento de PST de 3,2 para 9,8% em plantações irrigadas com efluentes por quatro anos. Sparling et al. (2006) encontrou o PST em solos novos variando entre 0,7-2,8% em solos não irrigados e 3,9-8,8% em solos irrigados.

Lucena et al. (2006) observou aumento significativo nos valores de porcentagem de sódio trocável (PST) no solo, correlacionando os valores de PST com os valores de Na trocável obtido no mesmo experimento. Balks et al. (1998) e Falkiner e Smith (1997) tiveram aumento nos valores de PST após 2 e 4 anos de irrigação, respectivamente.

Tabela 17 - Percentual de Sódio Trocável (PST) [1] das argilas do solo

(continua)

Tratamento	Época de Amostragem					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 0-10 cm (%)			
TSI	0,14	0,78	0,71	0,56	0,62	**0,56^{b}**
T100	0,15	0,68	0,83	1,13	2,80	**1,12ª**
T125	0,19	0,87	1,06	1,17	3,65	**1,39ª**
T150	0,19	0,88	1,22	1,37	2,80	**1,29ª**
T200	0,23	0,90	1,09	1,41	3,69	**1,47ª**
Média	**0,18^{C}**	**0,82^{B}**	**0,98^{B}**	**1,13^{B}**	**2,71^{A}**	
			camada 10-20 cm (%)			
TSI	0,15	1,23	0,60	0,58	0,25	**0,56^{b}**
T100	0,13	1,63	0,96	1,43	2,54	**1,34ª**
T125	0,17	1,60	1,01	1,00	3,81	**1,52ª**
T150	0,18	1,84	1,12	1,32	3,39	**1,57ª**
T200	0,14	1,91	1,16	1,82	4,41	**1,89ª**
Média	**0,16^{D}**	**1,64^{B}**	**0,97^{C}**	**1,23^{BC}**	**2,88^{A}**	
			camada 20-40 cm(%)			
TSI	0,19	1,40	0,64	0,69	0,47	**0,68^{b}**
T100	0,19	2,87	0,89	1,40	3,75	**1,82ª**
T125	0,16	2,09	1,04	1,14	3,52	**1,59ª**
T150	0,24	3,12	1,35	1,41	3,41	**1,91ª**
T200	0,24	2,60	1,40	1,48	4,61	**2,06ª**
Média	**0,20^{D}**	**2,41^{B}**	**1,06^{C}**	**1,22^{C}**	**3,15^{A}**	
			camada 40-60 cm (%)			
TSI	0,37	2,54	2,84	0,77	0,39	**1,38^{b}**
T100	0,37	3,29	3,15	1,92	2,52	**2,25ª**
T125	0,34	3,55	0,97	1,32	3,29	**1,89ª**
T150	0,42	3,10	1,65	1,88	1,92	**1,79ª**
T200	0,41	3,80	1,48	1,84	3,67	**2,24ª**
Média	**0,38^{C}**	**3,26^{A}**	**2,02^{C}**	**1,54^{BC}**	**2,36^{B}**	
			camada 60-80 cm (%)			
TSI	0,40	1,69	1,18	0,85	0,33	**0,89^{b}**
T100	0,44	2,67	1,23	1,70	1,69	**1,55ª**
T125	0,44	3,18	1,41	1,57	1,53	**1,63ª**
T150	0,38	2,76	1,52	1,95	1,37	**1,60ª**
T200	0,51	3,95	1,27	1,95	2,15	**1,97ª**
Média	**0,44^{C}**	**2,85^{A}**	**1,32^{B}**	**1,61^{B}**	**1,41^{B}**	

Tabela 17 - Percentual de Sódio Trocável (PST) das argilas do solo

(conclusão)

Tratamento	**Época de Amostragem**					
	Set/07	**Dez/07**	**Mar/08**	**Jun/08**	**Set/08**	**Média**
			camada 80-100 cm (%)			
TSI	0,35	1,64	0,90	1,14	0,46	**0,90^{b}**
T100	0,51	2,22	1,59	2,84	1,24	**1,68ª**
T125	0,53	3,38	1,13	1,78	1,19	**1,60ª**
T150	0,49	3,45	1,23	2,15	0,80	**1,62ª**
T200	0,53	3,70	1,25	2,02	1,50	**1,80ª**
Média	**0,48^{D}**	**2,88^{A}**	**1,22^{C}**	**1,98^{B}**	**1,04^{C}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P< 0,05).

$$(1)\ PST = \left(\frac{[Na]}{[Ca]+[Mg]+[K]+[Na]+[H+Al]} \right) \times 100$$

4.4 Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades químicas da solução do solo

4.4.1 pH da solução do solo

Os tratamentos irrigados apresentaram diferenças significativas apenas na profundidade de 30 cm (Tabela 18). Em relação às épocas amostradas houve uma pequena diferença significativa somente na 200 cm de profundidade.

Os valores de pH da solução do solo foram maiores que os valores obtidos no pH do solo. A pequena variação obtida nos valores de pH da solução do solo não implica em qualquer importância ou significância prática, como também obtido e afirmado por Leal (2007). O pH é um importante indicador das condições químicas do solo, por possuir capacidade de interferir na disposição de vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal, favorecendo ou não suas liberações (BRANDÃO, 2002).

Segundo Santos (2004), o efluente de esgoto na maioria das vezes é alcalino, pois raramente atinge valores superiores a 8,4. Efluentes com valores de pH abaixo de 8,4 possuem predominância de íons bicarbonato (HCO_3^-), e em valores acima de 8,4 predominam os íons carbonato (CO_3^{2-}). Com base na classificação de solos sódicos descrita por Rengasamy e Olsson (1991) o pH da solução do solo se enquadra como “solo sódico neutro”, pois se permaneceram na faixa de 6 – 8.

A pequena acidificação do pH na solução do solo, na profundidade 30 cm, está associada à substituição dos cátions K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} na fase lábil por íons H^+ e Al^{3+}, responsáveis pela acidez ou, ainda, pode ser atribuído aos ácidos orgânicos provenientes da decomposição na matéria orgânica (COSTA et al., 2008).

Tabela 18 - Valores do pH na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008

Tratamento	Época de Amostragem				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
			Profundidade 30 cm		
TSI	7,48	7,06	7,11	7,08	**7,18ª**
T100	7,58	7,39	7,17	7,31	**7,36ª**
T125	7,24	6,80	6,89	7,25	**7,04ª**
T150	7,29	7,34	7,43	7,46	**7,38ª**
T200	6,96	7,11	7,00	7,15	**7,05ª**
Média	**7,31^{A}**	**7,14^{B}**	**7,12^{AB}**	**7,25^{A}**	
			Profundidade 100 cm		
TSI	7,44	6,77	7,30	7,38	**7,22^{ab}**
T100	7,28	7,26	7,30	7,59	**7,36ª**
T125	6,72	6,78	6,86	7,03	**6,85^{bc}**
T150	6,81	6,73	6,69	6,80	**6,76^{c}**
T200	6,70	6,70	6,74	7,02	**6,79^{c}**
Média	**6,99^{AB}**	**6,85^{B}**	**6,98^{B}**	**7,16^{A}**	
			Profundidade 200 cm		
TSI	7,21	7,11	7,28	7,47	**7,26ª**
T100	6,98	6,90	7,18	7,50	**7,14ª**
T125	6,93	6,61	6,69	7,07	**6,83ª**
T150	7,11	7,26	7,42	7,34	**7,28ª**
T200	6,84	6,85	7,13	7,19	**7,01ª**
Média	**7,01^{B}**	**6,95^{B}**	**7,14^{AB}**	**7,31^{A}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P< 0,05).

4.4.2 Condutividade Elétrica (CE) na solução do solo

Os valores de CE não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, diferiram significativamente com o tempo, entre a primavera e o inverno, na profundidade de 100 cm (Tabela 19). Analisando os dados entre a primavera e o inverno, ocorreu uma diminuição nos valores de CE em toda área experimental. Segundo Tomé Jr. quanto mais sais houver na solução do solo maior a corrente elétrica (CE) que poderá ser transmitida através dela. Por isso, a CE da

solução é utilizada como indicadora da salinidade do solo. Em condições normais, a CE não é um fator que gera preocupação aos produtores rurais em regiões tropicais úmidas, em função da quantidade de sais presente em solução do solo ser pequena, não possuindo capacidade, portanto, de interferir no desenvolvimento dos cultivos (BRANDAO, 2002). O conhecimento da CE ao longo do tempo constitui em uma poderosa ferramenta para a interpretação da concentração de cátions e o seu movimento através do perfil (MORAES, 1992).

A hipótese mais provável para explicar este fato é que o EET utilizado na irrigação é um composto químico de baixa concentração de sais comparado com concentrações encontradas na literatura (Tabela 8), e desta forma, as lâminas de água aplicadas provavelmente não foram suficientes para promover o aumento da CE da solução do solo. O elevado índice de precipitação ocorrida no decorrer do experimento (Figura 8) pode ter influenciado na dissolução dos sais aplicados via-efluente e conseqüentemente na diminuição da CE da solução do solo em estudo.

Tabela 19 - Valores de CE na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (µS m^{-1})

(continua)

Tratamento	**Época de Amostragem**				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
			***Profundidade 30 cm* (µS m^{-1})**		
TSI	654,3	591,5	393,7	488,2	**531,9ª**
T100	1089,6	689,7	546,4	1147,1	**868,2ª**
T125	727,1	361,7	258,8	344,0	**422,9ª**
T150	803,4	521,7	266,9	376,5	**492,1ª**
T200	1065,9	670,6	256,7	607,7	**650,2ª**
Média	**868,0^{A}**	**567,0^{AB}**	**344,5^{B}**	**592,7^{AB}**	
			***Profundidade 100 cm* (µS m^{-1})**		
TSI	605,0	408,2	297,3	314,4	**406,2ª**
T100	1050,1	730,0	586,5	747,7	**778,6ª**
T125	898,9	498,6	345,9	488,5	**558,0ª**
T150	522,9	664,3	566,5	822,1	**643,9ª**
T200	806,8	406,3	309,7	576,1	**524,7ª**
Média	**776,7^{A}**	**541,5^{B}**	**421,2^{B}**	**589,7^{B}**	

Tabela 19 - Valores de CE na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (µS m^{-1})

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
			***Profundidade 200 cm* (µS m^{-1})**		
TSI	545,4	414,5	270,1	262,4	**373,1ª**
T100	360,9	455,2	394,9	331,4	**385,6ª**
T125	878,2	514,7	435,7	386,2	**553,7ª**
T150	357,5	439,0	290,6	369,6	**364,2ª**
T200	407,4	553,4	438,9	303,1	**425,7ª**
Média	**509,9^{A}**	**475,4^{A}**	**366,0^{A}**	**330,5^{A}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P< 0,05).

4.4.3 Alumínio na solução do solo

No que se refere ao alumínio na solução do solo, foram observadas diferenças significativas apenas a 200 cm de profundidade. Com relação ao tempo houve aumento nos teores de alumínio na solução do solo entre a primavera e o inverno (Tabela 20). No entanto, os menores valores encontrados na primeira amostragem (primavera) podem ser devido à calagem realizada anteriormente ao plantio das mudas de laranja. Com a aplicação de $CaCO_3$ e conseqüentemente aumento do pH do solo, o Al^+ trocável se tornou inativo impedindo a migração para a solução do solo.

A biodisponibilidade do alumínio tóxico com relação às plantas esta intimamente ligada ao pH, sendo mais biodisponível em soluções ácidas (pH <5.5) e, inativo em condições neutras-alcalinas (pH 5.5-8.0) (SPARLING e LOWE, 1996). Assim sendo, os menores valores obtidos na primavera podem estar relacionados a calagem realizada responsável pela neutralização do pH do solo nessa amostragem.

A diferença significativa do T150 na camada 200 cm pode ser explicada devido à deficiência de extração da solução de solo pela cápsula porosa extratora. Podemos relacionar essa deficiência com o fato do extrator ter sido coletado em apenas uma das

três amostragens de solução que caracterizaram as estações do ano. Fonseca (2005) e Hansen e Harris (1975) orientam sobre a dificuldade de coleta de amostras em quantidade suficiente para realização das análises.

Tabela 20 - Valores de alumínio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008

Tratamento	**Época de Amostragem**				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
		Profundidade 30 cm (µg L^{-1})			
TSI	3,72	186,34	105,53	15,81	**77,85ª**
T100	15,32	148,42	107,32	7,52	**69,64ª**
T125	22,53	180,50	125,55	69,18	**99,44ª**
T150	13,03	109,68	95,50	127,22	**86,36ª**
T200	28,31	227,82	81,76	50,72	**97,15ª**
Média	**16,58^{C}**	**170,55^{A}**	**103,13^{B}**	**54,09^{BC}**	
		Profundidade 100 cm (µg L^{-1})			
TSI	2,06	211,45	77,57	14,48	**76,39ª**
T100	21,14	176,83	112,57	43,14	**88,42ª**
T125	10,12	213,37	111,38	22,08	**89,24ª**
T150	9,31	213,24	111,70	17,74	**88,00ª**
T200	10,56	213,29	145,92	14,63	**96,10ª**
Média	**10,64^{C}**	**205,64^{A}**	**111,83^{B}**	**22,41^{C}**	
		Profundidade 200 cm (µg L^{-1})			
TSI	13,73	195,76	111,75	17,02	**84,57ª**
T100	9,16	213,18	138,79	15,51	**94,16ª**
T125	9,50	213,65	111,34	27,28	**90,44ª**
T150	17,86	33,76	8,50	21,08	**20,30^{b}**
T200	9,61	213,84	111,69	18,95	**88,52ª**
Média	**11,97^{C}**	**174,04^{A}**	**96,41^{B}**	**19,97^{C}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.4.4 Sódio na solução do solo

Os tratamentos empregados não resultaram em diferenças significativas em relação aos teores de sódio na solução do solo (Tabela 21). Entretanto, o TSI apresentou os menores teores de sódio na solução do solo em relação aos demais devido à adição de sódio via EET. Em relação ao tempo houve diferenças estatísticas entre as épocas. Foi observada uma brusca redução na concentração de sódio entre a primeira e a ultima amostragem (Tabela 21).

Segundo Fonseca (2005) essa redução na concentração de sódio na solução do solo se explica pelos seguintes fatos: (i) aporte de sódio via EET, (ii) à interação deste elemento no complexo de troca com outros cátions trocáveis (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}), (iii) ao acúmulo de Na pelas plantas, (iv) impacto do balanço evaporação-precipitação (GLOAGUEN et al., 2007). Baseado nesses fatores sugere-se que a redução na concentração de Na na solução do solo ocorreu possivelmente pela interação deste elemento no complexo de troca com outros cátions e, principalmente, ao elevado índice de precipitação ocorrida no decorrer do experimento (Figura 8), entre os meses de dez/07 a mai/08, responsável pela lixiviação desse elemento.

Tabela 21 - Valores de sódio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1})
(continua)

Tratamento	**Época de Amostragem**				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
			Profundidade 30 cm **(mg L^{-1})**		
TSI	45,03	18,64	2,90	1,93	**17,13ª**
T100	65,67	40,15	8,64	10,80	**31,32ª**
T125	63,93	21,43	5,90	5,26	**24,13ª**
T150	78,24	56,96	7,10	5,09	**36,85ª**
T200	71,68	44,57	6,33	3,78	**31,59ª**
Média	**64,91^{A}**	**36,35^{B}**	**6,17^{C}**	**5,37^{C}**	

Tabela 21 - Valores de sódio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1})

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
			***Profundidade 100 cm* (mg L^{-1})**		
TSI	16,15	3,37	2,96	2,93	**6,35ª**
T100	26,71	25,61	2,74	2,90	**14,49ª**
T125	31,52	12,57	1,39	1,56	**11,76ª**
T150	18,92	15,18	4,15	1,24	**9,87ª**
T200	53,64	16,00	1,87	1,03	**18,13ª**
Média	**29,39^{A}**	**14,55^{B}**	**2,62^{C}**	**1,93^{C}**	
			***Profundidade 200 cm* (mg L^{-1})**		
TSI	2,38	1,35	0,73	1,21	**1,42ª**
T100	1,18	2,31	2,77	1,09	**1,84ª**
T125	4,17	6,45	4,09	1,86	**4,14ª**
T150	1,47	2,54	4,54	1,49	**2,51ª**
T200	5,95	9,21	6,35	1,37	**5,72ª**
Média	**3,03^{A}**	**4,37^{A}**	**3,69^{A}**	**1,41^{B}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.4.5 Potássio na solução do solo

Os tratamentos empregados não ocasionaram alterações nas concentrações de K na solução de solo (Tabela 22). Houve apenas diferenças significativas em relação ao tempo para a profundidade 30 cm. No entanto, comparando os valores obtidos entre a primavera e o inverno, foi observado um aumento nos teores de K nas profundidades 30 e 100 cm e um decréscimo na profundidade 200 cm (Tabela 22).

Segundo Malavolta (1980) o potássio é um macronutriente absorvido da solução do solo pelas raízes, predominantemente através do processo de difusão. É absorvido pelas raízes na forma de K^{+} desempenhando várias funções na planta e, dentre estas, a melhora na eficiência de uso da água, em conseqüência do controle da abertura e

fechamento dos estômatos, a maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para outros órgãos da planta, a maior eficiência enzimática e a melhoria da qualidade comercial da planta (MALAVOLTA, 1997). Os mecanismos que controlam o transporte do potássio no solo são baseados na rápida troca com outros cátions no solo. Quando a quantidade de K no solo é relativamente pequena com relação à CTC, a adsorção é controlada principalmente pelas variações da concentração de potássio na solução do solo. Quando a concentração de K na solução do solo aumenta, a capacidade tampão do K decresce e a velocidade de transporte se incrementa (GONÇALVES, 2007).

Analisando os dados obtidos da solução do solo, sugere-se que o aumento da concentração de K na solução do solo ao longo do tempo nas profundidades 30 e 100 cm podem estar diretamente relaciondos aos valores obtidos de K trocável no solo (Tabela 13). Observa-se que os valores de K^+ nas camadas 20-40 e 80-100 cm diminuíram, demonstrando a migração do potássio trocável para a solução do solo. Podemos dizer que a liberação de K entre camadas aumenta quando a concentração da solução do solo de K e/ou K+ trocável diminuem devido, provavelmente, à lixiviação e absorção pelas plantas (OGAARD e KROGSTAD, 2005; ASKEGAARD e ERIKSEN, 2000).

Tabela 22 - Valores de potássio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1})

(continua)

Tratamento	**Época de Amostragem**				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
		***Profundidade 30 cm* (mg L^{-1})**			
TSI	7,99	12,00	13,70	31,92	**16,40ª**
T100	7,07	8,82	5,34	18,99	**10,06ª**
T125	4,89	4,82	6,72	12,99	**7,36ª**
T150	13,27	20,59	9,93	13,91	**14,42ª**
T200	10,49	10,42	11,44	14,01	**11,59ª**
Média	**8,74^{B}**	**11,33^{B}**	**9,42^{AB}**	**18,36^{A}**	

Tabela 22 - Valores de potássio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1})

(conclusão)

Tratamento	Época de Amostragem				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
		***Profundidade 100 cm* (mg L^{-1})**			
TSI	0,77	14,58	10,08	9,45	**8,72ª**
T100	4,84	5,05	5,68	7,73	**5,83ª**
T125	2,72	6,65	11,91	14,76	**9,01ª**
T150	3,12	7,18	8,86	14,23	**8,35ª**
T200	15,20	6,15	6,04	7,10	**8,62ª**
Média	**5,33^{A}**	**7,92^{A}**	**8,51^{A}**	**10,66^{A}**	
		***Profundidade 200 cm* (mg L^{-1})**			
TSI	8,79	3,39	3,97	4,39	**5,14ª**
T100	1,64	2,74	2,20	2,29	**2,22ª**
T125	2,00	13,08	3,58	3,49	**5,54ª**
T150	9,77	24,58	7,67	6,16	**12,04ª**
T200	2,71	7,80	5,91	2,65	**4,77ª**
Média	**4,98^{A}**	**10,32^{A}**	**4,67^{A}**	**3,80^{A}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.4.6 Cálcio na solução do solo

Quanto aos teores de cálcio na solução do solo não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 23). Apenas foram observadas diferenças significativas ao longo do tempo na profundidade 100 cm. Contudo, foi observada uma diminuição nos teores de Ca da solução nas profundidades de 30 e 100 cm, enquanto que a camada mais profunda resultou num aumento nos teores desse elemento.

Analisando os dados obtidos na solução do solo (Tabela 23) e Ca trocável (Tabela 14) observa-se que a concentração de cálcio contida no EET (Tabela 8) não foi suficiente para aumentar os teores desse elemento no solo. A diminuição de cálcio nas profundidades 30 e 100 cm pode estar relacionada à absorção Ca solúvel pela plantas

jovens, as quais possuem uma maior concentração de raízes na faixa de 30 cm de profundidade. No entanto, o aumento dos valores na profundidade 200 cm pode ser explicado devido à lixiviação do cálcio para camadas mais profundas. Dessa forma, podemos observar que a dinâmica desse elemento foi influenciada pela absorção de cálcio pelas raízes e pela lixiviação desse elemento para camadas mais profundas.

Tabela 23 - Valores de cálcio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1})

Tratamento	**Época de Amostragem**				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
			***Profundidade 30 cm* (mg L^{-1})**		
TSI	200,71	126,06	33,77	66,69	**106,81ª**
T100	119,58	75,07	73,31	174,90	**110,72ª**
T125	47,19	31,54	19,33	21,13	**29,80ª**
T150	49,80	35,74	17,45	22,14	**31,28ª**
T200	74,36	78,15	22,18	49,15	**55,96ª**
Média	**98,33^{A}**	**69,31^{A}**	**33,21^{B}**	**66,80^{AB}**	
			***Profundidade 100 cm* (mg L^{-1})**		
TSI	59,99	33,73	29,98	28,42	**38,03ª**
T100	141,57	114,53	100,29	119,41	**118,95ª**
T125	121,15	53,05	35,64	46,71	**64,14ª**
T150	46,05	61,67	66,34	105,48	**69,89ª**
T200	71,13	30,36	31,16	53,93	**46,65ª**
Média	**87,98^{A}**	**58,67^{B}**	**52,68^{B}**	**70,79^{B}**	
			***Profundidade 200 cm* (mg L^{-1})**		
TSI	67,16	52,92	32,06	33,92	**46,52ª**
T100	45,06	43,84	49,66	45,90	**46,12ª**
T125	44,20	46,19	52,89	64,02	**51,82ª**
T150	27,08	7,92	38,60	45,39	**29,74ª**
T200	42,23	48,39	46,62	66,00	**50,81ª**
Média	**45,15^{AB}**	**39,85^{B}**	**43,97^{AB}**	**51,05^{A}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.4.7 Magnésio na solução do solo

No que se refere ao Mg na solução do solo não ocorreram diferenças significativas com relação aos tratamentos empregados (Tabela 24). No decorrer do experimento as variações nos teores de Mg da solução foram significativas apenas para a profundidade 200 cm quando se compara a primeira com a última amostragem. Confrontando as épocas de amostragem nota-se uma diminuição nos teores de Mg nas profundidades 30 e100 cm, apesar dos teores estatisticamente não significativos, e um aumento para a profundidade de 200 cm.

Baseado na análise dos dados observa-se que as dinâmicas do Mg e do cálcio (Tabela 23) em solução do solo foram idênticas. No entanto, podemos observar que o que influenciou a diminuição desses elementos nas profundidades 30 e 100 cm e o aumento na profundidade 200 cm foram a absorção de magnésio pelas raízes e a lixiviação desse elemento para camadas mais profundas.

Tabela 24 - Valores de magnésio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L^{-1})

(continua)

Tratamento	**Época de Amostragem**				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
			***Profundidade 30 cm* (mg L^{-1})**		
TSI	56,73	37,86	11,76	19,58	**31,48ª**
T100	40,19	17,86	12,77	32,45	**25,82ª**
T125	14,57	10,08	7,89	7,34	**9,97ª**
T150	26,44	20,22	6,44	7,97	**15,27ª**
T200	28,28	30,89	9,34	22,57	**22,77ª**
Média	**33,24^{A}**	**23,38^{A}**	**9,64^{B}**	**17,98^{AB}**	
			***Profundidade 100 cm* (mg L^{-1})**		
TSI	27,46	13,39	6,13	5,07	**13,01ª**
T100	34,50	32,15	27,73	31,21	**31,40ª**
T125	27,45	14,23	9,96	13,41	**16,26ª**
T150	10,46	17,87	18,83	34,76	**20,48ª**
T200	26,39	11,51	13,34	22,19	**18,36ª**
Média	**25,25^{A}**	**17,83^{A}**	**15,20^{A}**	**21,33^{A}**	

Tabela 24 - Valores de magnésio na solução do solo entre a primavera de 2007 e o inverno de 2008 (mg L-1)

(conclusão)

Tratamento	**Época de Amostragem**				
	Primavera	**Verão**	**Outono**	**Inverno**	**Média**
	***Profundidade 200 cm* (mg L^{-1})**				
TSI	4,53	7,85	5,56	4,74	**5,67ª**
T100	2,53	8,42	10,19	8,25	**7,35ª**
T125	4,19	5,39	7,87	5,29	**5,69ª**
T150	7,41	15,73	6,84	7,13	**9,28ª**
T200	4,37	7,40	8,62	9,62	**7,50ª**
Média	**4,61^{B}**	**8,96^{A}**	**7,82^{A}**	**7,01^{A}**	

TSI: sem irrigação + 50% N mineral.
T100: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 100 % da capacidade de campo.
T125: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 125 % da capacidade de campo.
T150: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 150 % da capacidade de campo.
T 200: 50% N mineral + irrigação com esgoto tratado a 200 % da capacidade de campo.
Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P< 0,05).

5 CONCLUSÃO

Baseando-se em um correto planejamento e monitoramento quantitativo/qualitativo do efluente de esgoto tratado e das propriedades físicas e químicas do solo, podemos concluir que a irrigação com efluente de esgoto tratado contribuiu para o aporte de nutrientes no solo. Alem disso, o reuso deste tipo de efluente pode auxiliar na redução da poluição das águas superficiais, não apenas conservando os recursos hídricos, como também aproveitando nutrientes contidos na água do esgoto tratado para dispor nas culturas plantadas, podendo reduzir o custo com fertilizantes comercializados e o consumo de água.

O EET apresenta baixas concentrações de Ca, Mg, Na, K, Al, CE e RAS quando comparado com valores encontrados na literatura, apresentando assim menor potencial para promover alterações nas propriedades químicas e físicas do solo. Alem disso, o pH do efluente, ligeiramente alcalino, pode atuar como mitigador da acidez do solo.

Em relação ao sódio trocável, o tratamento sem irrigação (TSI) que apresentou valores menores quando comparados aos demais. Em conseqüência do aumento do sódio trocável, foram observadas também diferenças entre o Percentual de Sódio Trocável (PST) no solo para o tratamento acima mencionado.

No decorrer do experimento, foram observados aumentos nas variáveis de sódio trocável, potássio trocável e PST, e uma redução na concentração de sódio da solução do solo. No entanto, pode-se concluir que a concentração de Na, em longo prazo, pode modificar a estrutura do solo caso não haja um correto monitoramento das concentrações desse elemento no perfil do solo.

O cálcio trocável no solo sofreu diminuição dos teores nas camadas superficiais, (0-10 e 10-20 cm) e aumento nas camadas subsuperficias, constatando a migração do cátion entre as camadas.

O presente trabalho apresentou resultados promissores em relação à irrigação da cultura da laranja com EET. Sendo sugeridos para futuros trabalhos, estudos em longo prazo que detalhem de forma mais minuciosa o balanço de nutrientes realmente

aplicados em solo e a quantidade real necessária para suprir o déficit nutricional da cultura.

REFERÊNCIAS

AL-NAKSHABANDI, G.A.; SACAR M.M.; M.R. SHATANAWI,M. FAYYAD, H. AL-HORANI. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 34, p. 81-94, 1997.

ASKEGAARD, M.; ERIKSEN, J. Potassium retention and leaching in na organic crop rotation on loamy sand as affected by contrasting potassium budgets. **Soil Use and Management,** Indianápolis, v.16, p. 200-205, 2000.

AWWA/APHA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington. 1998.

AZEVEDO, L.P.; OLIVEIRA, E.L**.** Efeitos da aplicação de efluentes de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.253-263, 2005.

BALKS, M. R.; BOND, W.J.; SMITH, C.J. Efects of sodium accumulation on soil physical properties under an efluent-irrigated plantation. **Australian Journal of Soil Research,** Melbourne, v.36, 821-830. 1998.

BASTOS, R.K.X. (Coord.) Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: **ABES**/**RiMa**, 2003. 267 p.

BBC BRASIL. **Ciência & Saúde**. Brasília, 21 mar. 2006. Disponível em: < http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/story/2006/03/060321_aguafazendasmb.shtml >. Acesso em: 22 mar. 2006.

BOND, W.J. Efluent irrigation – an environmental challenge for soil science. Australian **Journal of Soil Research**, Melbourne, v.36, p.543-555, 1998.

BOURI. S.; ABIDA. H.; KHANfiR. H.; Impacts of wastewater irrigation in arid and semi arid regions:case of Sidi Abid region, Tunisia. **Environmental Geology Journal**, New York, v. 53, p. 1421–1432, 2007.

BRANDÃO, S.L.; LIMA, S.C. pH e condutividade elétrica em solução do solo em áreas de pinus e cerrado na chapada, em Uberlândia (MG) . **Revista on line Caminhos de Geografia,** Uberlândia,v.3, p.46-56, 2002.

CANDELA, L.; FABREGAT, S.; JOSA, A.; SURIOL, J.; VIGUÉS, MAS, J. Assessment of soil and groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: Application in a golf course (Girona, Spain). **Science of The Total Environment**, St. Louis, v.374, p.26-35, 2007.

CARARO, D.C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores.** 2004. 129p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CLARKE, R; KING, J. **O Atlas da água**. São Paulo: Publifolha, 2005. 345p.

COSTA, D.M.A.; MELO, H.N.S.; FERREIRA, S.R. Composição química da solução de solo após cultivo sob estresse salino e cobertura morta. **Holos**, Natal, v.24, n 1, p.4-14, 2008.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de analise de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática, Agropecuária/Embrapa, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Conservação e Levantamento de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro, 1979. 1v.

FALKINER, R.A.; SMITH, C.J.; Changes in soil chemistry in efluent-irrigated Pinus radiata and Eucalyptus grandis Plantations. **Australian Journal of Soil Research,** Melbourne, v.35, p.131-147, 1997.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) . **The future role of the use of sewage effluent for irrigation in the Near East.** FAO and Water Development Division**.** Rome, Italy**.** Disponível em: <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a01/CI000392.pdf >. Acesso em 17 dez. 2008.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations**). The Statistic Division 2008.** Disponível em: <http://www.fao.org/ >. Acesso em 20 jan. 2009.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Wastewater treatment and use in agriculture 1992**. FAO irrigation and drainage paper 47.** Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em 1 fev. 2009.

FATTA, D.; SALEM, Z.; MOUNTADAR, M.; ASSOBHEI, O.; LOIZIDOU M. 2004. Urban wastewater treatment and reclamation for agricultural irrigation: the situation in Morocco and Palestine. **The Environmentalist**, Chicago, v.24, n.4, p.227-236, 2004.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J**. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N**.** Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 515-524, 1999.

FILHO, A.J.T. **Fluxos de Água em Espécie de Citro (*Citrus sinensis* L. Osbeck – Laranja Pêra)**. 2005. 332p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) **-** Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

FNP (Instituto FNP)**. Agrianual 2006:** Mercado & Perspectivas da Laranja. São Paulo, p. 267-282, 2006.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado.** 2001. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração: Solos e nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FONSECA, A.F**. Viabilidade agronômico-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem.** 2005. 174p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FRENKEL, H.; GOERTZEN, J. O.; AND RHOADES, J. D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity**. Soil Science Society of America Journal,** Madison, v.42, p.32-39,1978.

FRENKEL, H.; GOERTZEN, J.O.; RHOADES, J.D.; Effects of clay type and content, exchangeable sodiumpercentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v.42, 32–39, 1978.

FUTURE HARVEST. ***Wastewater irrigation: Economic necessity or threat to health and environment?*** Future Harvest, Washington, DC, 2001.

GAZZAZ, N. **Long-term irrigation effect of Khirbit Es-Samra water on soil and olive (Olea europaea l.) quality.** 1999. 112p. Thesis (Msc in Soil). The University of Jordan, 1999.

GOLDBERG, S.; SUAREZ, D. L.; GLAUBIG, R. A. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid zone soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 146, p. 317-325, 1988.

GONÇALVEZ, A.D.M.A. **Efeito da temperatura no transporte dos íons potássio e nitrato no solo.** 2007. 83p. Dissertação (Mestrado em Física do Solo) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

GWENZI, W.; MUNONDO, R. Long-term impacts of pasture irrigation with treated sewage effluent on nutrient status of a sandy soil in Zimbabwe. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Berlin, v.82, p.197-207, 2008.

HANSEN, E.A.; HARRIS, A.R. Validity of soil-water samples collected with porous ceramic cups. **Soil Science Society of America Proceedings,** Ann Arbor, v.39, p.528-536, 1975.

HUIBERS, F.P.; VAN LIER, J. B. Use of wastewater in agriculture: The water chain approach**. Irrigation and Drainage.** Netherlands, v. 54, p. S3–S9, 2005.

HULUGALLE, N. R.; WEAVER, T. B.; GHADIRI, H.; HICKS, A. Changes in soil properties of an eastern australian vertisol irrigated with treated sewage effluent following gypsum application. **Land Degradation & Development,** Hoboken, v.17, 527–540, 2006.

HULUGALLE N.R; ENTWISTLE P.C; WEAVER T.B; SCOTT F; FINLAY L.A; **C**otton-based rotation systems on a sodic Vertosol under irrigation: effects on soil quality and profitability. **Australian Journal of Experimental Agriculture,** East Melbourne, v.42, p. 341–349, 2002.

HUSSAIN I.; L. RASCHID; M. A. HANJRA; F. MARIKAR; W. VAN DER HOEK. Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. (With an extended list of bibliographical references). Colombo, Sri Lanka: **International Water Management Institute**, 2002. (Working Paper 37)

IBGE 2004 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Distribuição Regional da Produção de Laranja no Brasil – Safra 2003/2004.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 mar. 2006.

IBGE 2006 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção Agrícola 2006: estimativa de fevereiro em relação a janeiro 2006.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 23 mar. 2006.

JOHNS, G.G; McCONCHIE, D.M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. ii. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters**. Australian Journal of Agriculture Research**, Collingwood, v.45, p.1619-1638, 1994.

KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. **Journal Production Agriculture,** Madison, v.12, p.607-617, 1999.

KOURAA, A.; FETHI, F.; FAHDE, A.; LAHLOU, A.; QUAZZANI, N. Reuse of urban waste-water treated by a combined stabilization pond system in Benslimane (Morocco). **Urban Water**,London, v.4, p.373-378, 2002.

KRETZSCHMAR, R.; ROBARGE, W. P.; STERLING, B. W. Floculation of Kaolinitic soil clays: effects of humic substances and iron oxides. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n.5, p. 1277-1283, Sept./Oct. 1993.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p. 85-90, 1990.

LUCENA, A.M.A.; GUERRA, H.O.C.; CHAVES, L.H.G.; COSTA, F.X. Análise de um fluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico. **Revista Caatinga,** Mossoró, v.19, n.4, p.409-414, 2006.

MALAVOLTA, E. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. 2 ed Piracicaba: Instituto Internacional de Pesquisa da Potassa, 1980. 91p. (Boletim Técnico, 4)

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações**.** 2.ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p. Funções, cap.3, p.76-77.

MANCINO, C.F.; PEPPER, I.L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: Soil quality**. Agronomic Journal,** Madison, v.84, 650–654, 1992.

McINTYRE, D.S**.;** Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. **Australian Journal of Soil Research.** Melbourne**,** v.17, 115–120.1979

MELFI, A.J. **Projeto Temático:** Uso de Efluentes de Esgotos Tratados por Processos Biológicos (Lagoas de Estabilização e Reatores UASB/Lodos Ativados) em Solos Agrícolas. 2005. 37p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ,ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, Nov. 2005.

MELI, S.; PORTO, M.; BELLIGNO, A.; BUFO, S.A.; MAZZATURA, A.; SCOPA, A. influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. **Science of the Total Environment** , Michigan, v.285, p.69-77, 2002.

MENNEER, J.C.; MCLAY, C.D.A.; LEE, R. Effects of sodium contaminated wastewater on soil permeability of two New Zealand soils. **Australian Journal of Soil Research,** Melbourne, v.39, p. 877–891. 2001.

MOLIN, J.P.; CASTRO, C.N. Condutividade elétrica: Alida potencial. **Revista Cultivar,** Peoltas, v.76. p.8-11. Março de 2006.

MORAES, J. F. V. Movimento de nutrientes em latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília,v.26, p.85-97, 1991.

NEVES, M. F.; JANK, M. S. **Desafios de coordenação na citricultura brasileira.** ICONE (Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais), São Paulo, 15 mar. 2006. Disponível em: <http://www.iconebrasil.org.br/portugues/conteudo.asp?idCategoria=1>. Acesso em: 23 mar. 2006.

OGAARD, A. F.; KROGSTAD, T. Release of interlayer potassium in Norwegian grassland soils. **Journal Plant Nutrition and Soil Science**, Berlin, v.168, p.80–88. 2005.

ORTEGA -LARROCEA, M.P.; SIEBE, C.; BÉCARD, G.; MÉNDEZ, I.; WEBSTER, R. Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of Mexico. **Applied Soil Ecology**, Dublin, v.16, p.149-157, 2001.

PALIWAL, K.; KARUNAICHAMY, K.S.T.K.; ANANTHAVALLI, M. Effect of sewage water irrigation on growth performance, biomass and nutrient accumulation in Hardwickia binata under nursery conditions**.** **Bioresource Technology**, Essex, v.66, p.105-111, 1998.

PARSON, L. R.; WHEATON, T. A.; CASTLE, W. S.; High Application Rates of Reclaimed Water Benefit Citrus Tree Growth and Fruit Production**. Hortscience**, St. Joseph, v.36, p.1273-1277, 2001.

PEIXOTO, M. S. **Sistemas Dinâmicos e Controladores Fuzzy: um Estudo da Dispersão da Morte Súbita dos Citros em São Paulo.** 2005**.**189p. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2005.

PESCOD, M.B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: FAO, 1992. 125p. (Irrigation and Drainage Paper, 47).

PESCOD, M.B. **Wastewater treatment and use in agriculture.** Rome: FAO, 1992. 125p.

POTTS, R.; ELLWOOD, B.; **Sewage efluent characteristics in newzealand guidelines for utilisation of sewage efluent on land.** New Zealand Land Treatment Collective and Forest Research: Rotorua, New Zealand. 2000. pt: issues for design and management.

PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico). **O problema do esgoto**. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/Prosab/ESGOTO.HTM>. Acesso em: 15 mar. 2006.

PUPISKY, H.; SHAINBERG, I. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, p.429-433.1979.

RASCHID-SALLY, L.; HOEK, W.N.D.; RANAWAKA, M.; **Wastewater reuse in agriculture in Vietnam: Water management, environment and human health aspects.** Colombo, Sri Lanka. 2001. 48p. (International Water Management Institute (IWMI) working paper 30).

REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil:** capital ecológico, uso e conservação. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 769p.

Research Report 41. Colombo, Sri Lanka: **International Water Management Institute,** Sri Lanka, 2000.

SAUCESDO, D.; SAMMIS, T.W.; PICCHIONI; MEXAL, J.G. Wastewater application and water use of *Larrea Tridentata***.** **Agricultural Water Management,** Amsterdam, p. 1-11, 2005.

SCHIPPER, L.A.; WILLIAMSON, J.C.; KETTLES, H.A.; SPEIR, T.W. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. **Journal Environmental Quality,** Madison, v.25,1073–1077, 1996.

SCOTT, C. A., J. A. ZARAZÚA, AND G. LEVINE. Urban-wastewater reuse for crop Production in the water-short Guanajuato river basin, Mexico. **IWMI Research Report** Colombo, Sri Lanka, 2000. 35p.

SHAINBERG, I.; LETEY, J. Response of soils to sodic and saline conditions. **Hilgardia**, Berkeley, v. 52, p.1-57.1984.

SHUVAL, H., ADIN, A., FATTAL. B., RATWITZ, E. & YEKUTIEL, P. (1985). **Health Effects of WasteWater Irrigation and their Control in Developing Countries**. The World Bank. Intregrated Resource Recovery Project Series Number GLO/80/004. 40p.

SPARLING, D.W. AND T.P. LOWE. Environmental Hazards of Aluminum to Plants, Invertebrates, Fish and Wildlife**. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.145. p. 1-127, 1996.

STEWART, H. T.; L., HOPMANS, P.; FLINN, D. W.; AND HILLMAN, T. J.; Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution,** St. Louis, v.63, 155-177. 1990.

SUDDUTH, K.A.; HUMMEL, J.W.; KITCHEN, N.R., DRUMOND, S.T. Evaluation of a soil conductivity sensing penentrometer. In: **American Society of Agricultural Engineers Annual International Meeting**, 2000, Proceedings of the 2000, St.Joseph, July 2000, p.9-12.

SUMNER, M.E. Sodic soils: New perspectives. In: Naidu, R.; Sumner, M.E.; Rengasamy, P. (Ed.). **Australian sodic soils**. Distribution, properties and management. Melbourne: CSIRO, 1995. p.1-34.

TODD D.K. **Groundwater hydrology.** 2nd ed., New York: John Wiley, 1980. 535 p.

TOZE, S. Reuse do effluent water-benefits and risk. **Agricultural Water Management.** Amsterdam, v. 80, p. 147-159, 2005.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI:** enfrentando a escassez. 2 ed. São Carlos : Editora Rima, 2005. 251p.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) **Guidelines for water reuse.** U. S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., 2002, 286 p. (EPA/625/R-04/108)

US Salinity Laboratory Staff. **Diagnosis and improvement of saline alkali soils**. N. 60. Washington: US Government Printing Office,1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook 60)

VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V.; REICHERT, J.M. Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.121-128, 1993.

Von SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. v.3. Lagoas de Estabilização. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 124p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO guidelines for safe wastewater use-more than just numbers. **Irrigation and Drainage,** Genebra, v.54, p. 103-111, 2005.

YADAV, R.K.; GOYAL, B.; SHARMA, R.K.; DUBEY, S.K.; MINHAS, P.S. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water – a case study. **Environment International** , Cumbria, v.28, p.481-486, 2002.

YOON, C. G.; KWUN, S.K.; HAM, J.H. Efects of treated sewage irrigation on paddy Rice cuture and its soil. **Irrigation and Drainage,** Korea, v.50, p. 227-236, 2001.