

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Antonio Claudio Testa Varallo**

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS  
FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-  
AMARELO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE ÁGUA DE  
REÚSO**

Dissertação apresentada para obtenção do  
Título de Mestre pelo Curso do Programa de  
Pós-Graduação em Ciências Ambientais da  
Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Composição, estrutura e  
processos do ambiente construído

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

**TAUBATÉ - SP**

**2008**

**Ficha catalográfica elaborada pelo  
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

V287a Varallo, Antonio Cláudio Testa  
Avaliação das alterações nos atributos físicos e químicos de um  
latossolo vermelho-amarelo submetido à aplicação de água de reúso /  
Antonio Cláudio Testa Varallo. - 2008.  
79f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, Programa de Pós-  
graduação em Ciências Ambientais, 2008.  
Orientação: Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza, Universidade Federal  
de São Carlos.

1. Manejo. 2. Reúso. 3. Salinidade. 4. Sodicidade I. Título.

**ANTONIO CLAUDIO TESTA VARALLO**

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE  
UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE  
ÁGUA DE REÚSO**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Composição, estrutura e processos do ambiente natural

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

Data: 10/12/2008

Resultado: Aprovado

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza	Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Prof.(a) Dr.(a) Regina Célia de Matos Pires	Instituto Agrônômico de Campinas (IAC)
Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa	Universidade de Taubaté (UNITAU)

Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

orientador

Ao meu orientador que acreditou no meu potencial e mostrou-me um mundo até então desconhecido.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza, pela paciência, dedicação, transmissão de conhecimentos, apoio, amizade, e principalmente orientação em nosso trabalho.

Aos meus pais que mesmo sem compreender a magnitude do que estava acontecendo me apoiaram da melhor forma possível.

Ao amigo Itiel que desde o começo incentivou esta etapa da minha vida.

Às amigas Ana Laura, Denise e Lygia que entenderam o afastamento momentâneo do convívio em função deste trabalho.

Aos amigos Álvaro e Simone que incentivaram e deram o apoio toda vez que precisei.

Ao colegas do grupo GEEA que participaram de alguma forma do processo deste trabalho: Letícia, Bruno Santoro, Bruno Almeida, Leonardo, Elton, Lucas, Davidson, Roseane, Joseane, Marcelo e Clodoaldo.

Ao amigo Tiago de Carvalho que sempre me socorreu nos apuros da informática.

A chefia do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Taubaté que possibilitou a realização deste curso de Mestrado.

A Universidade de Taubaté, através da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação que cedeu em forma de bolsa de estudo, parte da despesa deste curso de Mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté, na figura do coordenador Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa que colaborou sempre com os pedidos de apoio na realização de parte das análises de solos deste trabalho.

Aos todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté que durante este tempo contribuíram de alguma forma transmitindo seus conhecimentos e ajudaram na execução deste trabalho.

Aos técnicos, estagiários e ao Prof. Mestre João Luiz Gadioli, responsável pelo Laboratório de Solos e Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté por parte das análises de solos deste trabalho.

À colega Teresa B. C. Ribas que cedeu parte da água de reúso utilizada neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Paulo Fortes Neto que gentilmente cedeu parte da água de reúso utilizada no segundo experimento deste trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Piloto do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, que me ajudaram sempre que precisei de mão-de-obra na execução do segundo experimento deste trabalho.

Ao Laboratório de Análises de Água e Efluentes Líquidos da Empresa de Pesquisa, Tecnologia e Serviços da Universidade de Taubaté, pelas análises da água de reúso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apóio neste trabalho.

“Água, água em toda parte,  
E todas as pranchas se contraíram;  
Água, água em toda parte,  
E nem uma gota para beber.”

“Water, water, everywhere,  
And all the boards did shrink;  
Water, water, everywhere,  
Nor any drop to drink.”

Poema: A rima do antigo marinheiro

Autor: Coleridge

## **RESUMO**

### **AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO**

A utilização do efluente de esgoto tratado para poupar os corpos d'água utilizados para irrigação tem sido de grande interesse na agricultura, e o uso não regulamentado desta prática pode acarretar mudanças no comportamento físico-químico e microbiológico do solo. Sua prática tem sido de grande interesse em vista da redução da quantidade de água retirada dos mananciais e sua preservação, evitando-se a contaminação dos corpos hídricos, normalmente receptores destes esgotos. Objetivou-se neste trabalho a avaliação dos parâmetros físico-químicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico após a aplicação de água de reúso. Assim, foram realizados dois experimentos: o primeiro em laboratório, onde em uma coluna de solo foram aplicados primeiramente 15L de água destilada; logo em seguida mais 15L de água de reúso proveniente de uma estação de tratamento, por leitos cultivados, de efluente doméstico. A cada 5L de cada água foi coletada amostra da água lixiviada para análises. O segundo experimento foi realizado em uma condição de casa de vegetação onde foram



cultivados dois ciclos da alface crespa (*Lactuca sativa*, L) com 2 tratamentos com 3 repetições cada: testemunhas (Tst1, Tst2 e Tst3), com aplicação de água direta do manancial; e reúso (RsA, RsB e Rsc), proveniente de um sistema fossa filtro composto de um tanque séptico seguido de um filtro anaeróbio. Os resultados mostraram que em ambos os experimentos houve redução em alguns atributos químicos de fertilidade indicando uma possível retenção pelo solo ou pela cultura, ou pela lixiviação. Houve diminuição da condutividade hidráulica do solo, e aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. Notou-se também uma redução do pH do solo e aumento de valores de manganês, além do aumento dos valores da Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Porcentagem de Sódio Trocável (PST). Desta forma pode-se concluir que a utilização de água de reúso para fins agronômicos deve ser de forma racional, monitorando-se principalmente a elevação do teor de sais no solo.

Palavras- chave: Reúso. Manejo. Salinidade. Sodicidade.

## **ABSTRACT**

### **EVALUATION OF CHANGES IN PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF A RED-YELLOW LATOSOL SUBMITTED TO THE IMPLEMENTATION OF WATER REUSE**

The use of treated sewage effluent to save the ponds used for irrigation has been of great interest in agriculture, and the unregulated use of this practice can cause changes in physical and chemical behavior of the soil. This practice has been of great interest in view of reducing the quantity of water withdrawal from the springs and its preservation, avoiding the contamination of water bodies, these receptors normally drains. The objective of this work is to evaluate the physical and chemical parameters of a Red-yellow dystrophic Latosol after the implementation of water reuse. Thus, two experiments were conducted: the first in the laboratory, where in a column of soil were applied first 15L of distilled water, then more 15L of water reuse from a wetland treatment for domestic sewage. In each 5L of water application a sample of the water passed through the column was collected for analysis. The second experiment was conducted in a condition of a greenhouse where they were grown two rounds of curly lettuce (*Lactuca sativa*, L) with 2 treatments with 3 repetitions each: witnesses

(Tst1, Tst2 and Tst3) and reuse (RSA, RSB and RSC ). The results showed that in both experiments there were decreased in some chemical parameters of fertility indicating a possible retention by ground or by culture. There was a decline in hydraulic conductivity of soil and increase the electrical conductivity of soil saturation extract. It also noted a reduction of the soil pH and increases the values of manganese, in addition to increasing the values of SAR and ESP. Thus we can conclude that the application of water reuse on the soil for agricultural purposes should be in a rational way, and the elevation of salts in the soil must be monitored.

Key-words: Reuse. Management. Salinity. Sodium.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema do módulo hidráulico do tipo coluna de solo.....	42
Figura 2.	Frasco de Mariotte com saída para a coluna na parte inferior.....	43
Figura 3.	Coluna de acrílico sobre o suporte metálico.....	44
Figura 4.	Utilização do funil com o cano de PVC para a colocação de solo.....	45
Figura 5.	Sonda de TDR posicionada no centro da coluna.....	46
Figura 6.	Início do processo de saturação mostrando a frente de molhamento da coluna de acrílico.....	47
Figura 7.	Saturação do solo mostrando a passagem da água do frasco de Mariotte para a coluna.....	47
Figura 8.	Casa de vegetação onde foi realizado o experimento.....	49
Figura 9.	Posicionamento dos canteiros na casa de vegetação (estufa).....	51
Figura 10.	Linha de canteiros e cultura em diferentes estádios .....	52
Figura 11.	Valores da condutividade elétrica em razão da quantidade e qualidade da água aplicada no solo.....	57
Figura 12.	Avaliação da CE no solo através da representação dos valores de “K” (fator de desvio) da CE das amostras das parcelas RsA, RsB e RsC (parcelas com água de reúso).....	63
Figura 13.	Representação dos valores de “K” (fator de desvio) dos parâmetros químicos das amostras de solos das parcelas de reúso (RsA, RsB e RsC) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Diretrizes microbiológicas recomendadas para o uso de esgoto na agricultura.....	26
Quadro 2. Classificação e destino dos corpos de água.....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Diretrizes para a interpretação da qualidade da água para a irrigação.....	31
Tabela 2.	Classificação dos solos sódicos e salinos.....	32
Tabela 3.	Características da composição química e biológica da água de reúso.....	48
Tabela 4.	Características granulométricas do solo antes e após a aplicação da água de reúso.....	55
Tabela 5.	Valores médios de salinidade, sodicidade, CE, Ksat e PST no solo após a aplicação de água destilada e água de reúso.....	56
Tabela 6.	Análise dos atributos químicos do solo antes (A) e após aplicação de água de reúso (B).....	59
Tabela 7.	Valores comparativos da qualidade da água de abastecimento e de reúso utilizadas nas irrigações.....	60
Tabela 8.	Valores médios de nitrato, sódio, CE, condutividade hidráulica e PST no solo, após o término do experimento nas parcelas.....	63
Tabela 9.	Valores médios dos parâmetros químicos do solo encontrados nas parcelas testemunhas (Tst1, Tst2 e Tst3) e de reúso (RsA, RsB e RsC) após o término do segundo ciclo da cultura.....	66

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	15
<b>2. OBJETIVO</b>	19
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA</b>	20
3.1 Água: uso e escassez – reúso.....	20
3.2 Reúso da água na agricultura.....	22
3.3 Irrigação.....	24
3.4 Qualidade da água na irrigação.....	25
3.5 Salinidade e Sodicidade.....	29
3.6 Condutividade elétrica.....	32
3.7 Condutividade hidráulica.....	34
3.8 Atributos químicos do solo.....	36
3.9 A cultura da alface.....	38
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	41
4.1 Experimento em laboratório.....	41
4.1.1 Descrição da montagem do módulo.....	43
4.1.2 Água de reúso.....	48
4.2 Experimento em campo.....	49
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	55
5.1 Experimento em laboratório.....	55
5.2 Experimento em campo.....	60
5.3 Considerações.....	69
<b>6. CONCLUSÃO</b>	71
<b>REFERÊNCIAS</b>	72

## 1. INTRODUÇÃO

Nunca se falou tanto em escassez de água como na atualidade. Muitos a consideram como um bem finito (FELIZATTO, 2000; MANCUSO & SANTOS, 2003; WPCF, 1989; BERNARDI, 2003). Também muito se tem discutido a respeito dos conflitos gerados ou a serem gerados pela sua escassez.

Apesar do volume de água no planeta ser constante (BERNARDI, 2003), com cerca de 35 milhões de km<sup>3</sup>, a disponibilidade hídrica para o consumo humano representa uma parte muito pequena da reserva hidrológica, cerca de 1%.

A limitação de reservas de água doce no planeta necessárias para atender a demanda exigida pelo consumo humano tem imposto restrições à utilização dos recursos hídricos. Uma destas restrições é o lançamento de efluentes no meio ambiente, que incide no agravamento da degradação ambiental e conseqüentemente para a qualidade de vida das espécies existentes, principalmente a humana.

Este quadro faz com que a água se torne alvo de especulações cada vez mais acirradas pela oferta. Como recurso natural indispensável à vida de várias espécies, como índice representativo de valores culturais e sociais, e como um fator importante no desenvolvimento de várias atividades econômicas, destacando-se aqui a indústria, o comércio e principalmente a agricultura – principal meio de sobrevivência alimentar do homem; é que cada vez mais este bem se torna importante para a preservação da raça humana no planeta. De acordo com Von Sperling (2005) a prioridade de uso da água seria de: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação de animais, preservação da flora e fauna, recreação e lazer, criação de espécies, geração de energia elétrica, navegação, harmonia passagística e



diluição e transporte de despejos; gerando-se complexidade na medida em que a questão abrange todos esses aspectos e principalmente o ambiental.

O desenvolvimento industrial, a ocupação urbana desordenada, a falta de saneamento básico e a falta de tratamento e disposição de resíduos sólidos contribuem para cada vez mais ocorrer um aumento da contaminação, degradação e escassez de água doce em córregos, rios e lagos com qualidade, principalmente aqueles próximos aos grandes centros urbanos.

De acordo com Mancuso & Santos (2003), 99% da água do planeta não serve para o consumo humano ou possui um custo de exploração bastante elevado, tornando-a quase inviável. Segundo Coelho et al., (2005) 97% da água existente no mundo é salgada, o que implica na impossibilidade de seu uso na agricultura e na indústria; menos de 3% corresponde a água doce, sendo que aproximadamente 2% se encontram nas calotas polares e somente 1% é utilizada pelo homem para consumo próprio, e está ameaçada pela degradação ambiental.

Também de acordo com WHO/UNICEF (2005), aproximadamente 4.500 crianças morrem por dia no mundo de doenças causadas por águas contaminadas. Moraes & Jordão (2002) afirmam que a cada 14 segundos morre uma criança vítima de doenças causadas por água contaminada; e que 80% de todas as moléstias, além de 1/3 dos óbitos em países em desenvolvimento serem conseqüências da ingestão de água contaminada em geral. Uma das causas da perda da qualidade da água seria a sua contaminação por esgotos e excrementos humanos, pesticidas, metais pesados e despejos industriais.

Apesar de ser um bem renovável, o aumento populacional e o consumo de água têm sido inversamente proporcionais ao que a natureza produz, resultando em algumas regiões a falta de água e conseqüentemente a geração de conflitos.

A tendência atual visa o aproveitamento de águas de chuva e o reúso de águas de esgoto tratado, principalmente para a irrigação na agricultura. Neste caso, além da água

essencial para o crescimento das plantas, estariam sendo aproveitados os nutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas.

A reutilização dos esgotos tratados além de reduzir a quantidade de água retirada dos mananciais, preserva-os. Esta prática tem sido de grande interesse para a agricultura, levando-se em conta a grande quantidade de água normalmente necessária, em torno de 70% da disponibilidade hídrica no Brasil e cerca de 80% em alguns países (HESPANHOL, 2003).

Como a água uma vez poluída pode ser tratada e reutilizada, o desenvolvimento e uso de tecnologias buscam eficiência e estratégias para solucionar os problemas de escassez.

Ainda de acordo com Hespagnol (2003), principalmente em regiões áridas e semi-áridas, a água é um fator que limita o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola; e novas alternativas de reaproveitamento de recursos hídricos estão em constante procura para suprir as fontes naturais disponíveis. Portanto, o uso planejado além de contribuir para a sustentabilidade deste bem, gera economia da água em geral e sua prática regulamentada poderá prevenir a contaminação dos corpos hídricos receptores de esgotos tratados ou não; e na agricultura, a não contaminação do solo no aspecto químico, que contribui para a salinização e sodicidade, degradando o meio ambiente e acarretando também a contaminação de aquíferos subterrâneos.

O estudo dos problemas causados pela utilização de água de reúso para fins agrícolas, principalmente no que diz respeito aos atributos físicos e químicos do solo, contribui para o delineamento de soluções que minimizem efeitos negativos.

Inúmeras pesquisas têm sido desenvolvidas nesta linha, procurando um novo conceito em relação ao uso racional da água, para que as próximas gerações tenham disponibilidade a este bem.

Desta forma, levando-se em conta questões de sustentabilidade ambiental, em que o reúso de água se faz presente, o estudo e soluções de problemas relacionados à prática de seu

uso, principalmente em relação a possíveis contaminações e alterações nos atributos do solo, é que se torna importante o estudo sobre este tema, com a intenção de se entender formas de tratamento de esgoto, manejos de irrigação e uso controlado da água de reúso.

## **2. OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise referente aos atributos físicos e químicos do latossolo vermelho-amarelo pertencente a uma área no município de Taubaté-SP, após a aplicação de água de reúso, proveniente de esgoto doméstico.

Desta forma, o trabalho visará atender aos problemas relacionados a possíveis alterações nesses atributos, avaliando o potencial de uso para a agricultura, considerando as questões de sustentabilidade ambiental.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Água: uso e escassez – reúso

Selborne (2001) afirma que Segundo o Conselho de Suprimento de Águas e Serviços Sanitários em torno de 25% da população mundial se encontra impedida de acesso regular à água, e por volta de 60% vive em condições precárias em relação à saneamento básico.

De acordo com Christofidis (2006) 110.000 km<sup>3</sup> da água renovável do planeta está nos continentes e parte dela se precipita através do ciclo hidrológico alimentando os corpos hídricos e recarregando os aquíferos.

O Brasil é um país privilegiado, onde estão localizadas as mais extensas bacias hidrológicas do planeta; embora a grande maioria encontre-se longe dos grandes centros urbanos (MANCUSO & SANTOS, 2003).

O volume de água total no planeta Terra está na ordem de 1386 milhões de km<sup>3</sup> e apenas 0,007% se encontra disponível para o consumo humano (LIMA, 2001). Bernardi (2003) também afirma esta má distribuição de fontes hídricas, apesar de elas serem abundantes.

Para Santos & Malinowski (2005) o planejamento e a gestão dos recursos hídricos são fundamentais para as questões em torno da disponibilidade e demanda quali-quantitativa, necessitando de uma integração harmoniosa da sociedade, para se evitar conflitos.

De acordo com Philippi Jr. (2003) um importante instrumento de gestão para o enfrentamento da escassez de água é o seu reúso.

A prática de reúso principalmente na agricultura, que representa algo em torno de 70% do consumo no Brasil, promove uma agricultura sustentável, protege as fontes de

abastecimento e melhora a qualidade da água nos ecossistemas aquáticos (HESPANHOL, 2003).

A utilização da água de reúso na agricultura é realidade em muitos países, principalmente aqueles situados em regiões áridas ou semi-áridas (SILVA & HESPANHOL, 2002).

Porém, esta prática no Brasil tem sido pouco difundida, apesar da escassez em algumas regiões. São poucos os registros de sua aplicabilidade, principalmente na agricultura; embora ocorra o uso indiscriminado de águas de má qualidade (MAROUELLI & SILVA, 1999).

Felizatto (2000) nos lembra que a palavra – reúso – não era encontrada na língua portuguesa até 1998, e que era traduzida literalmente do inglês e escrita de duas formas: reuso ou re-uso, e que a forma correta é reúso, acentuada por se tratar de um hiato.

Conforme a Organização Mundial de Saúde, WHO (1973) o reúso pode ocorrer de forma direta ou indireta, através de ações planejadas ou não. Sendo assim, temos:

- Reúso indireto: quando a água já usada uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- Reúso direto: uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como a irrigação, uso industrial, recarga de aquíferos e água potável;
- Reciclagem interna: é o reúso da água internamente a instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

### 3.2 Reúso de água na agricultura

“O futuro da alimentação no mundo virá da irrigação. Cerca de 80% da produção de alimentos virá da agricultura irrigada, um aumento que corresponderá a um acréscimo no consumo de água de apenas 15%.”

(CHRISTOFIDIS, 2006)

A água de reúso, que é a água residuária já dentro dos padrões mínimos exigidos para a sua utilização, quando lançada no solo, é uma prática das mais antigas conhecidas pelo homem.

De acordo com Mehnert (2003) não é de hoje a prática da disposição de esgotos domésticos no solo. A Alemanha adota esta prática a mais de 300 anos; a Inglaterra começou a utilizá-la no século passado. Outros países como México, Austrália e Estados Unidos da América do Norte também são adeptos desta prática, principalmente na agricultura onde se têm observado aumento na produção em solos de baixa fertilidade. É uma forma de controle da poluição dos corpos hídricos e de se aproveitar os nutrientes visando o aumento da produção.

Segundo Reis et al. (2005) a reutilização da água concorre adequadamente para a sustentabilidade deste bem, e sua utilização na agricultura é uma forma alternativa de controle das fontes poluidoras nos corpos d'água, além da reciclagem dos nutrientes e aumento da produção agrícola.

A prática de irrigação com águas de reúso, feita de maneira criteriosa, não só fornece os nutrientes para a cultura a que se destina como também é uma forma de tratamento e limpeza quando de sua filtragem pelo solo, alimentando com isso o lençol freático conforme Araújo et al.(1999).

Dentre outros motivos para a utilização da água de reúso para fins agrícolas destacamos ainda o custo elevado dos fertilizantes e seus riscos para a saúde pública e sobre o solo, a quase não existência de fontes alternativas visando a irrigação de culturas, o elevado custo dos sistemas de tratamentos de esgotos para sua descarga em corpos receptores de efluentes, e principalmente a importância e o valor da prática da gestão de recursos hídricos atualmente reconhecido pelos órgãos gestores desta prática (HESPANHO,2003).

Airoidi (2007) afirma que a água utilizada para a irrigação não deve competir com a água para o consumo humano. A água para irrigação será cada vez mais escassa e sua qualidade cada vez pior.

Assim, a utilização de esgotos tratados para fins agrícolas, além de promover uma agricultura sustentável, economia de águas superficiais, menos poluição nos corpos hídricos (atuais depósitos de esgotos domésticos e industriais tratados ou não), é uma prática que deve ser aplicada e estudada, procurando-se diminuir os custos de tratamento, já que o solo atua como uma forma de tratamento natural e reduzindo também os custos com fertilizantes químicos (SANDRI, 2003).

Hespanhol (2003) afirma que no Brasil, aproximadamente 70% da água é utilizada para a agricultura, 20% na indústria e em torno de 10% para fins urbanos. Assim, a sustentabilidade deste bem dependerá no futuro da utilização de novas fontes de suprimento e uma gestão adequada dos recursos hídricos convencionais.

A irrigação agrícola representa o primeiro maior consumidor de água no mundo; e o reúso de água para este feito significaria, no futuro, oportunidades de desenvolvimento e sustentabilidade para países desenvolvidos e em desenvolvimento (ASANO e LEVINE, 1996)

De acordo com o Centro Internacional de Referência em Reuso de Água – CIRRA (2002), os efluentes quando devidamente tratados podem ser utilizados em irrigação superficial de qualquer alimento, inclusive os consumidos crus, desde que não processados



comercialmente; irrigação de pomares e vinhas de alimentos processados comercialmente e culturas não alimentícias (pastos, forragens).

O reúso de água no Brasil quando bem planejado ajudará aos pequenos e médios agricultores no uso de uma água que muitas vezes se encontra escassa nos mananciais, principalmente naqueles que se encontram nas proximidades dos grandes centros urbanos. Porém, para isso, é necessário um sistema de tratamento adequado, oferecendo uma água de boa qualidade sanitária e com baixo custo (KÖNIG et al. 1998)

### 3.3 Irrigação

Irrigação é o conjunto de técnicas para transferência de água num determinado tempo para um local específico, corrigindo a distribuição de água natural, e procurando maximizar a produção agrícola (LIMA et al. 2001).

De acordo com Christofidis (2006) o potencial brasileiro para a agricultura irrigada, principalmente de forma sustentável, é estimado em torno de 29.564.000 hectares, sendo que 2/3 se encontra nas regiões Norte e Centro-Oeste.

Conforme Bernardi (2003) a agricultura irrigada é uma das atividades econômicas mais importantes no Brasil e os métodos empregados, o tipo de solo, o tipo de cultura e suas necessidades hídricas determinam o consumo específico de água para a irrigação.

Hespanhol (2003) menciona algumas técnicas de irrigação, utilizando a aplicação de água de esgoto tratada:

- inundação ou canal lateral - onde se molha toda a superfície do solo;
- sulcos – molhando-se apenas uma pequena superfície do solo;
- aspersores – onde todo o solo e a cultura são molhados de maneira igual assim como ocorre com as chuvas;

- irrigação sub-superficial – em que só uma pequena parte do solo é irrigada, porém existe a possibilidade de saturação;
- irrigação localizada (gotejamento) – neste caso, a água é aplicada no solo e na quantidade necessária para a planta.

Christofidis (2006) afirma que a eficiência dos sistemas de irrigação e uma agricultura bem manejada podem manter a competitividade e o aumento das áreas produtoras agrícolas com menos consumo de água.

Quanto menor a perda de água pelo escoamento superficial, pela evaporação, pela derivação da rede de drenagem e pela drenagem profunda, menor o consumo de água e maior a eficiência do modelo de irrigação adotado (LIMA et al. 2001).

De acordo com Leon & Cavallini (1999) apud Santos et al. (2007) a irrigação localizada gera um risco menor de contaminação no meio ambiente, desde que manejada corretamente.

Ainda de acordo com Hespanhol (2003) cada método de irrigação possui um fator que determina a escolha da medida de proteção quando se utiliza a água de esgoto para irrigação, levando-se em conta custos baixos, eficiência, medidas de proteção aos operários agrícolas, problemas de filtração para se evitar entupimento de orifícios em irrigação sub-superficial, etc.

### 3.4 Qualidade da água na irrigação

A água de reúso, quando tratada, atende a diversos usos, principalmente em relação à produção agrícola. Desta forma, tende a minimizar a falta de alimentos em países onde o clima não favorece a produção agrícola (ARAÚJO et al. 2002).

De acordo com Hespanhol (2003) é importante que os efluentes tratados contenham concentrações de matéria orgânica e o maior número de nutrientes e micronutrientes que se encontram nos esgotos brutos. O Quadro 1 mostra as diretrizes microbiológicas recomendadas para o uso de esgoto na agricultura e os diversos tipos de tratamento.

Quadro 1. Diretrizes microbiológicas recomendadas para o uso de esgoto na agricultura (\*)

Categoria	Condições de reúso	Grupos de risco	Nematóides intestinais <sup>(1)</sup> (n° ovos/L) <sup>(2)</sup>	Col. fecais (n° ovos/100mL) <sup>(3)</sup>	Sistema de tratamento recomendado para atingir a qualidade microbiológica
A	Irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos <sup>(4)</sup>	Operários e consumidor	≤ 1	≤ 1.000	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores <sup>(5)</sup>	Operários	≤ 1	—	Retenção em lagoas de estabilização por 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, se não ocorrer exposição de trabalhador e do público	Nenhum	—	—	Pré-tratamento requerido pela técnica de irrigação aplicada, mas não menos do que tratamento primário

(\*) Em casos específicos, fatores epidemiológicos, socioculturais ou ambientais devem ser levados em consideração e essas diretrizes modificadas de acordo: (1) *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Acilostomus duodenalis*; (2) Média aritmética durante o período de irrigação; (3) Média geométrica durante o período de irrigação; (4) Um valor diretriz mais restritivo (200 coliformes fecais por 100 mL) é apropriado para gramados públicos, tais como os de hotéis, com os quais o público tenha contato direto; (5) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem colhidos, e frutos não devem ser colhidos do chão. Irrigação por sistema de aspersores não deve ser utilizada. Fonte: WHO (1973).

Assim, quando se fala em reúso agrícola, as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (WHO) indicam uma DBO de até no máximo 100 miligramas por litro. Acima deste valor podem ocorrer problemas com a absorção de água pela planta.

Duarte (2006) também indica a utilização dessas diretrizes para o reúso agrícola, até que se tenha um estudo epidemiológico e microbiológico especialmente desenvolvido para países em desenvolvimento. Neste caso o Brasil se enquadra.

A Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e suas diretrizes ambientais para seu enquadramento, estabelecendo as condições e os padrões de lançamento de efluentes. O Quadro 2 mostra a classificação e o destino.

Quadro 2. Classificação e destino dos corpos de água

Classe	Destino
Especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) abastecimento para consumo humano com desinfecção;</li> <li>b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;</li> <li>c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.</li> </ul>
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) abastecimento para o consumo humano, após tratamento simplificado;</li> <li>b) proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>c) recreação de contato primário (esqui, natação, mergulho).</li> <li>d) Irrigação de hortaliças, consumidas cruas e de frutas, desenvolvidas rentes ao solo e ingeridas cruas sem remoção da película;</li> <li>e) Proteção de comunidades aquáticas em Terras Indígenas.</li> </ul>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) abastecimento de consumo humano, após tratamento convencional;</li> <li>b) proteção de comunidades aquáticas;</li> <li>c) recreação de contato primário;</li> <li>d) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer;</li> <li>e) aquicultura.</li> </ul>
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;</li> <li>b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;</li> <li>c) pesca amadora;</li> <li>d) recreação de contato secundário;</li> <li>e) dessedentação de animais.</li> </ul>
IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) navegação;</li> <li>b) harmonia paisagista.</li> </ul>

Fonte: CONAMA (2005)

Observa-se que todas as classes, com exceção da classe especial – que é a única destinada ao consumo humano sem tratamento específico (apenas uma simples desinfecção), todas as outras classes podem ser utilizadas na agricultura.

No artigo 29 desta mesma Resolução ainda afirma que “a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não poderá causar poluição ou contaminação das águas”.

De acordo com Blum (2003), quando água possui turbidez elevada, há indícios de teores elevados de sólidos suspensos que podem abrigar microrganismos. Sendo assim uma monitoração da turbidez se faz necessário para o controle da proliferação desses microrganismos que podem acarretar prejuízos para o ser humano como consumidor da cultura que utilizou a água de reúso para seu desenvolvimento.

De acordo com Fink & Santos (2003) qualquer água utilizada que não seja primária é água de reúso.

Blum (2003) ainda afirma que a questão do risco na utilização de água de reúso ainda é objeto de muitos estudos, principalmente no que se refere à saúde pública. Assim, ele adota dois princípios em que o risco sanitário é avaliado:

- a) reúso não potável é mais seguro que reúso potável;
- b) reúso indireto é mais seguro do que reúso direto, desde que o processo de recuperação da qualidade tenha um estudo de controle de depuração na natureza.

Quando o assunto é água de reúso para fins agrícolas, salienta-se ainda que a irrigação com reúso é uma modalidade em muitas regiões próximas a centros urbanos, gerando a irrigação de hortaliças com águas provenientes de esgotos das cidades. Sendo assim, alguns tópicos e componentes da água são considerados importantes, tais como a salinidade, a sodicidade, os nutrientes e substâncias tóxicas, além do cloro. Suas concentrações dependem do tipo de esgoto e seus efeitos recaem sobre o desenvolvimento das plantas, que absorvem da água através de suas raízes.

### 3.5 Salinidade e Sodicidade

É de fundamental importância a qualidade da água na utilização de sistemas irrigados. Um dos principais problemas é a concentração total de sais que causam a salinização do solo, elevando o potencial osmótico e a redução do potencial hídrico, dificultando a absorção de água pela planta (MANCUSO, 2003). Segundo Bond (1998), se mal planejado, aplicação de água de reúso no solo, poderá causar problemas, principalmente com respeito à contaminação do solo e lençol freático por nitratos, compostos orgânicos, sodicidade, salinidade e metais pesados.

Trabalhos têm sido elaborados analisando os efeitos da sodicidade e salinidade sobre as modificações nas propriedades físico-hídricas do solo e suas conseqüências na porosidade, permeabilidade, capacidade de infiltração e retenção de água. Todos os solos possuem sais solúveis em sua composição, e são essenciais para o desenvolvimento vegetativo. Porém, em altas concentrações são prejudiciais, causando salinidade no solo.

De acordo com Santos (2004) os solos são considerados salinos quando possuem altas concentrações de sais solúveis; sódicos quando possuem altas concentrações de sódio trocável; e salino-sódicos quando apresentam altas concentrações de sais e sódio trocável.

Segundo Daker (1988) e Ayers & Westcot (1987) a salinidade considera a concentração total de sais nas águas. A sodicidade é uma medida da concentração de sódio em relação a outros cátions na solução. A capacidade de infiltração da água no solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da RAS (Razão de Adsorção de Sódio) e, ou, o decréscimo da salinidade. Desta forma, estes dois parâmetros – RAS e salinidade devem sempre ser analisadas em conjunto para se avaliar corretamente os efeitos que a água de irrigação causa na redução da capacidade de infiltração do solo. Para Ayers & Westcot

(1987) a proporção relativa de sódio em relação a outros sais pode ser expressa e calculada pela expressão:

$$RAS = \frac{Na}{[(Ca + Mg)/2]^{1/2}} \quad (1)$$

Em que:

RAS = razão de adsorção de sódio;

Na = teor de sódio na água de irrigação;

Ca = teor de cálcio na água de irrigação;

Mg = teor de magnésio na água de irrigação.

De acordo com Daker (1988) altos teores de sódio em relação a cálcio e magnésio na água, superiores a 3:1, ou valores baixos de cálcio no solo, podem prejudicar as propriedades físico-químicas deste solo, ocorrendo um desequilíbrio em sua estrutura e até reduzindo sua permeabilidade. Isto acaba ocorrendo geralmente nas camadas superficiais.

Ainda conforme Ayers e Westcot (1987) existem algumas diretrizes para se avaliar a qualidade da água de irrigação, sobretudo seus efeitos em longo prazo na produção da cultura, manejo do solo e condição deste. Estas diretrizes são apresentadas na Tabela 1 com algumas adaptações nas unidades.

Tabela 1. Diretrizes para a interpretação da qualidade de água para irrigação

Problema Potencial	Unidades	Grau de restrição ao uso		
		Nenhum	Leve a moderado	Severo
<b>Salinidade</b>				
CEa <sup>(1)</sup>	dS.m <sup>-1</sup>	<0,7	0,7 – 3,0	>3,0
SDT (Sólidos dissolvidos totais)	mg.L <sup>-1</sup>	<450	450 - 2000	>2000
<b>Infiltração</b>				
RAS <sup>(3)</sup> =0 – 3 e CEa	(mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	>0,7	0,7 – 0,2	<0,2
= 3 – 6		>1,2	1,2 – 0,3	<0,3
= 6 – 12		>1,9	1,9 – 0,5	<0,5
= 12 – 20		>2,9	2,9 – 1,3	>1,3
= 20 – 40		>5,0	5,0 – 2,9	<2,9
<b>Toxicidade de íons específicos</b>				
<b>Sódio (Na)</b>				
Irrigação por superfície <sup>(2)</sup>	(mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	<34,5	34,5 – 103,5	>103,5
Irrigação por aspersão	mg.L <sup>-1</sup>	<34,5	>34,5	
<b>Cloretos (Cl)</b>				
Irrigação por superfície	mg.L <sup>-1</sup>	<20	20 – 50	>50
Irrigação por aspersão	mg.L <sup>-1</sup>	<15	>15	
<b>Boro (B)</b>				
		<2,5	2,5 – 10,8	>10,8
<b>OUTROS</b>				
Nitrogênio (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N) <sup>(3)</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	<5,0	5,0 – 30,0	>30,0
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg.L <sup>-1</sup>	<17,7	17,7 – 100,3	>100,3
<b>pH</b>		<b>Faixa normal: 6,50 – 8,40</b>		

Fonte: adaptado de Ayers & Westcot (1991)

<sup>(1)</sup>Condutividade elétrica da água medida a 25°C, expressa em dS.m<sup>-1</sup>;

<sup>(2)</sup>(mg.L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup> Unidade da RAS – Relação de Adsorção de Sódio;

<sup>(3)</sup>Nitrogênio expresso na forma de nitrato.

Daker (1988) descreve uma classificação de solos sódicos e salinos (Tabela 2) elaborado pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, baseado nos teores de sais solúvel e percentual de sódio trocável (PST) e pH.



Tabela 2. Classificação dos solos sódicos e salinos

Denominação	Nome vulgar	CE <sup>1</sup> μS/cm	PST <sup>2</sup> %	pH	Recuperação
Salino	Álcali branco	>4	<15	≤8,5	Lixiviação dos sais
Salino sódico	-----	>4	>15	Próximo de 8,5	Aplicação de corretivos e lixiviação
Sódico	Álcali negro <sup>3</sup>	<4	>15	8,5 a 10,0	Aplicação de corretivos e lixiviação
Normais ou não salinos	-----	<4	<15	4 a 8,5	-----

Fonte: adaptado de Daker (1988)

<sup>(1)</sup>CE: condutividade elétrica do extrato de saturação do solo;

<sup>(2)</sup>PST: porcentagem de sódio trocável;

<sup>(3)</sup> Há formação de crosta negra na superfície unicamente quando existe matéria orgânica suficiente em um solo alcalino.

Sendo assim, uma das formas mais simples para a determinação de sais solúveis é medir a condutividade elétrica do extrato de saturação. Já o PST estima-se através da equação:

$$PST = \frac{\text{teor de sódio trocável} \times 100}{CTC} \quad (2)$$

onde a CTC é capacidade de troca de cátions do solo e representa a quantidade total de cátions absorvidos por unidade de peso do solo.

De acordo com Mancuso (2003) a capacidade que o solo tem de reter os íons metálicos contidos nos esgotos e impedi-los de chegar às águas superficiais ou subterrâneas, além de tecidos vegetais, depende da sua capacidade de troca iônica.

### 3.6 Condutividade Elétrica

Uma das maneiras de se estudar a quantidade de sais presentes em uma solução é através da determinação da condutividade elétrica (CE) desta solução. Quanto maior a CE, maior a concentração de sais. O excesso de sal na água pode provocar a diminuição de absorção de água pela planta e degradar as características físicas do solo. Neste caso um dos

íons mais importantes a serem estudados é o sódio. Em excesso diminui a permeabilidade do solo e reduz as taxas de infiltração da água no solo. Seu efeito é avaliado através do cálculo da taxa de adsorção de sódio – RAS.

De acordo com Souza et al. (2006) a água adequada para irrigação não depende exclusivamente da quantidade de sais dissolvidos, mas também do tipo de sal. Desta forma, a fim de se conseguir uma boa produtividade da cultura, é necessário um manejo adequado, evitando-se o acúmulo de sais, e conseqüentemente o aumento da CE.

Ainda de acordo com Souza et al (2006) a CE de uma solução representa a facilidade com que a água tem no transporte da corrente elétrica, medindo a resistência à passagem de elétrons, que é a função da quantidade de solutos iônicos na solução do solo.

Conforme o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997) a condutividade elétrica deve ser expressa em  $\text{dS.m}^{-1}$ , e o método de sua determinação se encontra descrita.

Outra forma de se determinar a CE, além da laboratorial, é em condições de campo, onde são utilizados sensores capazes de medir a corrente elétrica total do solo; destacando-se aqui o TDR (Time Domain Reflectometry) e que permite várias leituras simultâneas e de fácil operacionalidade.

De acordo com Tommaselli & Bacchi (2001) e Souza et al. (2006) esta é uma técnica relativamente nova onde a umidade do solo é medida na presença da água no solo sobre a velocidade de sua propagação,  $v$ , de microondas (ondas eletromagnéticas com frequência de intervalos entre 50 MHz a 10 GHz) em cabos metálicos condutores, introduzidos no solo. A velocidade e conseqüência do meio que envolve o cabo, sua permissividade (constante dielétrica)  $K$ , é que é dependente da proporção de matéria sólida de água e ar. A diferença entre o  $K$  da água e os demais componentes do solo é que permite a relação entre  $K$  e umidade, denominado curva de calibração.

### 3.7 Condutividade Hidráulica

Vários problemas na agricultura estão relacionados ao movimento de água no solo, entre eles, drenagem, irrigação, transporte de água e nutrientes, escoamento superficial e outros. O monitoramento da quantidade de água no solo é importante no estudo da condutividade hidráulica do solo não saturado [  $K(\theta)$  ] .

A primeira equação do movimento de água nos meios porosos foi apresentada por Darcy (1856). Richards (1931) apresenta uma equação diferenciada descrevendo esse movimento. A partir dela, vários outros pesquisadores têm estudado métodos para a determinação da condutividade hidráulica, entre eles, Dirksen (1991), Jong Van Lier & Libardi (1999), Pauletto et al. (1988).

Como a porosidade de um solo representa uma porção por onde circulam água, nutrientes e ar, seu estudo é uma das maneiras de se determinar as características do comportamento físico-hídrico do solo mediante a distribuição do diâmetro de seus poros. Fiori et al. (2007) afirmam que o reúso da água tem ótimos resultados nas condições estruturais do solo, diminuindo a sua compactação e conseqüentemente aumentando sua capacidade de aeração.

Segundo Gloaguen (2005) existem inúmeras classificações com relação ao diâmetro dos poros e as relações entre os macroporos e microporos, que formam a porosidade estrutural do solo relevam sua importância no processo de irrigação.

A associação dos poros com as partículas sólidas, sua forma, arranjo e dimensão caracterizam a estrutura do solo. A fertilidade deste solo está diretamente relacionada com essa associação tendo em vista sua capacidade de drenagem, retenção de água, absorção dos

nutrientes, aeração e temperatura, segundo Rezende (1997) e Brewer & Sleeman (1960) apud Klein & Libardi (2002).

A importância da macroporosidade foi enfatizada por Reichardt & Timm (2004) no que diz respeito à condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ). A condutividade hidráulica de um solo seria a velocidade com que um líquido atravessa um meio poroso. A interatividade da textura e estrutura do solo é que garante e influencia o movimento de água no solo e conseqüentemente o bom desenvolvimento da planta através da absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração, temperatura segundo Rezende (1997).

Segundo Reichardt & Timm (2004), a influência das condições físicas do solo sobre o transporte de nutrientes está relacionada a: (i) umidade do solo, que quando adequada gera transpiração potencial das plantas arrastando os nutrientes através de um fluxo até a superfície radicular - altos teores de água no solo afetam o crescimento radicular em função do processo de aeração do solo ficar prejudicado, por outro lado, baixos teores de água também causam prejuízo ao desenvolvimento radicular da planta - além disso, o índice de umidade afeta o comportamento mecânico do solo e isso acaba gerando efeitos na penetração das raízes; (ii) a aeração é inversamente proporcional à quantidade de água no solo e está interagida com as atividades dos microrganismos, tão essenciais a nutrição das plantas quanto para a respiração radicular; (iii) a textura de um solo que de acordo com o tamanho de suas partículas serão fundamentais na determinação de suas propriedades hídricas, que conseqüentemente afetam os processos de fluxo de massa, interceptação radicular e absorção dos nutrientes pelo sistema radicular das plantas.

Barbosa et al. (2004) avaliou os efeitos de diferentes doses de lodo de esgoto na condutividade hidráulica saturada e não saturada em um latossolo vermelho eutroférico, e concluiu que houve alterações na condutividade hidráulica nos potenciais 0 e -1 kPa, respectivamente.

Gupta et al. (1977) menciona que a condutividade hidráulica diminui conforme o aumento da dose de lodo nas parcelas de solo não saturadas.

A condutividade hidráulica é mais dependente da estrutura do que da textura do solo (MESQUITA & MORAES, 2004). Depende da forma e continuidade do sistema poroso, variando de um local para o outro.

É uma das propriedades do solo que melhor indica as diferenças estruturais no perfil de um solo, variando entre os horizontes, em função da umidade (REICHARDT, 1990).

Conforme afirmado por Hillel (1970) as partes físicas do solo (estrutura, densidade, textura), química, bioquímica (atividade microbiana) ou mecânica (presença de ar bloqueando a passagem da água) influenciam a condutividade hidráulica do solo.

Alguns trabalhos sobre as propriedades hidrodinâmicas do solo enfocam o estudo da condutividade do solo saturado ( $K_{sat}$ ) utilizando colunas de solo (MAGESAN et al., 1999; MEENNER et al., 2001).

Barbosa et al. (2004) avaliaram a condutividade hidráulica em campo e afirmaram que ela comporta-se de maneira diferente para cada tipo de solo.

Desta forma, estudos mais completos sobre as propriedades físico-químicas do solo são necessários para a avaliação e o comportamento hidráulico de um solo irrigado com água de reúso.

### 3.8 Atributos químicos do solo

Os corpos hídricos são considerados depuradores naturais de resíduos gerados pelo homem. Esta prática bastante usual compromete a qualidade do meio ambiente. O uso controlado de águas de reúso gera menor captação de recursos hídricos primários e gera automaticamente menos efluente lançado nos corpos d'água, conservando o recurso natural

no que diz respeito a seus aspectos de qualidade e quantidade. Nesta prática, a agricultura irrigada tem gerado, através de manejos, a conservação dos corpos d'água e o aproveitamento dos nutrientes necessários às culturas agrícolas que estão presentes na água de reuso, melhorando a fertilidade do solo e aumentando a produtividade (MEDEIROS, 2005).

Freitas et al.(2007) atenta para o problema da salinidade do solo decorrente das altas taxas de evaporação e baixa precipitação pluviométrica, e da presença em excesso de nitrato, potássio, sódio e nitrogênio total.

Segundo Guidolin (2000) é necessário destaque para os elementos minerais presentes em efluentes urbanos necessários para o desenvolvimento vegetal, entre eles, os macronutrientes (N, P e K) e os micronutrientes (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn). O aproveitamento contido nos efluentes tratados pode reduzir a necessidade de fertilizantes comerciais.

De acordo com Ayers & Westcot (1985) a aplicação de água residuária no solo causa efeitos que só poderão ser observados em longo prazo com aplicação contínua, principalmente nos atributos físicos e químicos do solo; além das condições do clima e solo, que também interferem.

Medeiros et al. (2005) pesquisou de forma controlada a aplicação de água residuária no solo, investigando o comportamento dos atributos químicos (pH, Ntotal, P, K e Na) durante 270 dias, num perfil de solo e concluiu que esta aplicação sendo feita de forma controlada pode aumentar a produtividade sem efeitos negativos no solo ou em águas subterrâneas.

Por outro lado, Freitas et al. (2007) avaliando o efeito da água salina de irrigação em dois tipos de solos, percebeu que suas características químicas foram afetadas pela salinidade da água, aumentando os teores de sódio, RAS e PST.

Alves et al. (2007) estudando os impactos da irrigação com esgoto sanitário tratado sobre solo plantando com coqueiros, e analisando os parâmetros da água (pH, cloreto, cálcio, magnésio, CE e RAS) e do solo (pH, cálcio, magnésio, CE e PST) constatou um ligeiro aumento nos valores do solo nos parâmetros analisados, porém sem atingir níveis considerados perigosos; portanto, aparentando não comprometer a cultura agrícola.

A fertilidade do solo depende de sua capacidade de fornecer água e nutrientes necessários para o desenvolvimento da cultura agrícola e, é influenciado pelos atributos físico-químicas e biológicos do solo.

Sendo assim, de uma maneira simples, a fertilidade do solo é avaliada por um conjunto de propriedades químicas: pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio + hidrogênio, CTC, saturação de bases, etc. (REICHARDT & TIMM, 2004). Baumgartner et al. (2007) confirmam alterações químicas no solo, porém proporcionais às características das águas utilizadas.

### 3.9 A cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa*, L.) é originária da Ásia. Hortaliça tipicamente folhosa, de elevado consumo e grande aceitação. Divide-se em grupos: manteiga, crespa, americana, romana e mimosa. Pode ser cultivado o ano todo em campo, estufas e hidroponia; porém, não tolera geada. Sua irrigação é freqüente (Boletim 200, IAC, 1998).

De acordo com Filgueira (1982) apud Baumgartner et al. (2007) ela está dentre as hortaliças de maior importância, constituída de ricas fontes de minerais e celulose. Ainda de acordo com Filgueira (1982), é uma cultura bastante exigente com relação a água, com irrigação freqüente e abundante, devido a ampla área foliar, evapotranspiração intensiva e sistema radicular delicado.

De acordo com a Circular Técnica 19 (EMBRAPA, 2002), um dos fatores limitantes da produtividade de culturas é a falta de água no solo; porém, o excesso também causa prejuízo, aparecendo fungos e apodrecendo as raízes e folhas. Assim, um manejo adequado deve ser aplicado.

Sandri et al. (2007) avaliou o uso de água residuária e água de reservatório superficial no desenvolvimento da alface “Elisa” (*Lactuca sativa*, L) e observou ótimos resultados no desenvolvimento, na classificação comercial e eficiência de água obtida com a aplicação da água residuária aplicada pelo sistema de gotejamento.

Viana et al. (2001) estudou a tolerância desta hortaliça a diferentes níveis de salinidade de água e observou uma tolerância moderada à salinidade na germinação e moderadamente sensível na fase de plântula e de muda.

Araújo et al. (1999) aplicando reúso indireto de esgoto com a hortaliça, observou que a passagem de água pelo solo fornece os nutrientes necessários à cultura e que a irrigação sendo feita de maneira criteriosa pode não causar danos a cultura irrigada, ao meio ambiente, ao trabalhador agrícola e aos consumidores, devendo ser levada em consideração tal prática. Foi observado também, que apesar da água utilizada apresentar índices de coliformes fecais acima do padrão recomendado pela WHO (1989), para aplicação irrestrita (1000 UFC/100mL), após a passagem pela coluna, houve uma redução bastante considerável, podendo o solo atuar como um meio filtrante retendo os microorganismos presentes na água de irrigação.

Lima et al. (2005) utilizando água residuária tratada e analisando a qualidade sanitária da produção da alface irrigada, observou maior produtividade nos tratamentos com água de reúso sendo maior nos alfaces irrigado com efluente decantado.

Baumgrtner et al. (2007) aplicando água residuária da piscicultura e suinocultura na irrigação da alface verificou que não houve alteração significativa de macro e micronutrientes,



exceto para manganês e que uma análise microbiológica apresentou contaminação em todos os tratamentos aplicados no experimento.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho se desenvolveu em dois experimentos: um em laboratório e outro em campo.

### 4.1 Experimento em laboratório

O trabalho foi realizado no laboratório de Mecânica de Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Taubaté. As amostras de solos foram retiradas de uma área no Departamento de Ciências Agrárias da referida Universidade, com Latitude de 23° 01' 51,7" S e Longitude de 45° 30' 37,4" W e elevação de 553 m, sendo que estas amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm (TFSA); e, realizados ensaios para determinação dos atributos físico-químicos antes da aplicação de água de reúso; posteriormente utilizados como referência para comparação após a realização dos ensaios descritos abaixo nas seguintes etapas: (i) irrigação do solo com água destilada; (ii) irrigação do solo com água de reúso.

Para a acomodação do solo e posterior estudo da aplicação da água de reúso foi utilizado um módulo hidráulico do tipo coluna de solo, conforme pode ser observado o esquema na Figura 1.

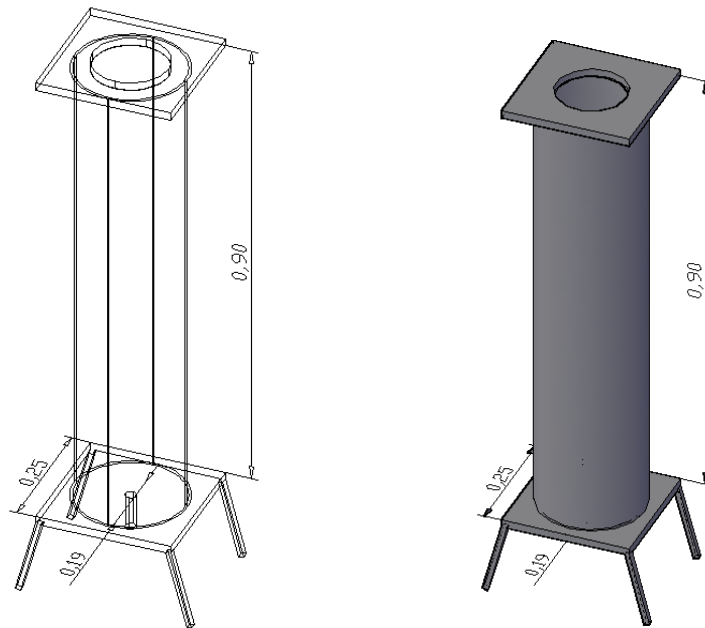


Figura 1. Esquema do módulo hidráulico do tipo coluna de solo

A quantidade de água de reúso aplicada no experimento foi baseado na necessidade de consumo para o cultivo de 2 ciclos da cultura da alface “Elisa” (*Lectuca sativa, L.*). Aplicou-se neste experimento a mesma lâmina de água que no trabalho de Santos & Pereira (2004): aproximadamente 150 mm por ciclo. Foram aplicados 15 L de água destilada e posteriormente 15 L de água de reúso. Em cada uma destas aplicações foram realizadas a cada 5 L as determinações da condutividade elétrica e hidráulica do solo. Antes e após a conclusão do experimento no módulo, amostras de solo foram retiradas para análises físico-química.

A aplicação de água destilada foi para promover a lixiviação dos íons e facilitar o entendimento da alteração da concentração iônica devido à aplicação de água de reúso.

#### 4.1.1 Descrição da montagem do Módulo Hidráulico

O módulo hidráulico de simulação de escoamento em meios porosos é composto de uma coluna de acrílico com diâmetro de 19 cm e uma altura de 90 cm. Ela possui uma pequena abertura na parte inferior para permitir a saída e o movimento da água em seu interior, e uma abertura maior na sua parte superior por onde o solo foi colocado. Além disso, encontra-se também em sua parte superior um conector metálico onde foi acoplada uma mangueira de silicone para o processo de lixiviação do solo com as águas experimentais.

Para simulação do movimento de água dentro da coluna foi utilizado um frasco de Mariotte que viabiliza uma carga hidráulica pré-definida. Este acessório possui duas aberturas: na parte superior, conectada a uma rolha, passa um tubo de cobre de 8 mm de diâmetro que serve como saída de ar e sua função será a de repor o meio líquido na coluna hidráulica durante o processo de lixiviação. A outra abertura se encontra na base do frasco e conectada ao módulo funciona como saída do líquido repositivo da coluna. (Figura 2)



Figura 2 – Frasco de Mariotte com saída para a coluna na parte inferior

A montagem do módulo foi realizada da seguinte forma: inicialmente, a coluna de acrílico (corpo do módulo hidráulico) foi colocada sobre um suporte metálico, facilitando o funcionamento do dreno da água que será utilizada para a saturação do meio poroso, como pode ser observado na Figura 3. Foi utilizada a pinça de Mohr para o fechamento deste dreno.



Figura 3 – Coluna de acrílico sobre o suporte metálico

Para auxiliar na melhor distribuição da água pelo meio poroso, tanto na saturação do solo como na condução do ensaio foi colocado no fundo desta coluna uma manta geotêxtil do tipo “Bidin”, 100% em poliéster, fabricado em processo “spunweb” (extrusão direta de filamentos contínuos), para impedir a passagem do solo pelo dreno.

Para a colocação do solo de forma homogênea dentro da coluna foi usado um cano de PVC  $\frac{3}{4}$ ” e um funil. O solo foi adicionado aos poucos através do funil acoplado no cano como mostra a Figura 4, de modo que este fosse distribuído de forma mais uniforme dentro da coluna procurando reproduzir o mais próximo possível a densidade do solo de campo. O módulo hidráulico foi dividido em seis partes iguais de 15 cm, e colocado em cada parte

6520g de solo passado na peneira 2 mm (TFSA), totalizando 39120g e, conseqüentemente mantendo a densidade do solo em  $1,50\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .



Figura 4 – Utilização do funil com o cano de PVC para a colocação de solo

Foi colocada na coluna, a uma altura de 50 cm, uma sonda contínua de TDR posicionada na parte central do módulo hidráulico de acordo com a Figura 5, que permitiu o monitoramento dinâmico dos valores de condutividade elétrica (CE) do solo durante a aplicação do efluente. A sonda foi construída e calibrada seguindo as metodologias propostas por Souza et al. (2001), Souza et al. (2006) e Mmolawa e Or (2000).



Figura 5 – Sonda de TDR posicionada no centro da coluna

Formada por três hastes de aço conectadas em um cabo coaxial RG58-50 $\Omega$ , esta sonda foi acoplada a um Reflectômetro TDR100 (Campbell Scientific, Logan-Utah) equipado com um interface RS232, analisando o sinal eletromagnético automaticamente através de um coletor de dados (CR1000-Dataloger-Campbell Scientific).

Escolheu-se o acrílico como material da coluna por ser um material inerte e permitir o acompanhamento da acomodação do solo e da frente de molhamento durante o processo de saturação. (Figura 6)



Figura 6 – Início do processo de saturação mostrando a frente de molhamento da coluna de acrílico

A saturação do solo foi realizada através do frasco de Mariotte, utilizando-se uma mangueira de silicone, conectada entre o módulo e o frasco de Mariotte, ocorrendo então a passagem de água para o meio poroso, conforme mostrado na Figura 7.



Figura 7 – Saturação do solo mostrando a passagem da água do frasco de Mariotte para a coluna



O frasco tem a função de manter uma carga constante de água (steady state) sobre o meio poroso, cuja vazão será aplicada igualmente na superfície da mesma.

#### 4.1.2 Água de reúso

A água de reúso utilizada foi coletada em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por leito cultivado construída em concreto impermeabilizado e dimensionado para tratar o esgoto gerado por 40 pessoas, cujo trabalho de pesquisa foi apresentado por Ribas e Fortes Neto (2006). Este efluente provém de instalações sanitárias, chuveiros e pias utilizadas pelos funcionários e visitantes do Viveiro de Plantas Municipal de Jacareí/SP, nas coordenadas geográficas com Latitude 45°58'01,63"S e Longitude 23°18'50,34"W.

O leito de raízes, de onde o efluente foi coletado no mês de julho/2007, recebeu uma camada de 50cm de brita nº2 e areia de granulometria de média a grossa (0,25 a 0,50mm). Sobre esta camada foram cultivadas 50 mudas de *Zantedeschia aethiopica* (copo-de-leite). Na Tabela 3 são apresentadas as características da composição química e biológica da água de reúso.

Tabela 3. Características da composição química e biológica da água de reúso

Parâmetros	Resultados
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	74,0
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	149,2
pH	6,9
Nitrogênio Amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	30,6
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg.L <sup>-1</sup> )	44,0
Fosfato Total (mg.L <sup>-1</sup> )	5,4
Coliformes Fecais Totais (NMP em 100L)	15.000
Coliformes Termotolerantes (NMP em 100L)	10.000
RAS (mmol.c.L) <sup>0,5</sup>	0,85
Toxicidade do Efluente Tratado	isento

Fonte: adaptada de Ribas e Fortes Neto (2006).

## 4.2 Experimento em campo

O experimento foi desenvolvido em condição de casa de vegetação (estufa) numa área do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté – UNITAU, com Latitude de 23° 01' 55,25"S e Longitude de 45° 30' 39,74"W e elevação de 571m, entre os meses de maio a julho de 2008.

A casa de vegetação (estufa) possui uma estrutura metálica do tipo teto em arco, com pé direito de 3,00m e 20,00m de comprimento por 6,40m, de largura. Suas laterais possuem tela do tipo sombrite e cortinas de polietileno móveis e transparentes, de 0,10mm de espessura, conforme mostrado na Figura 8.



Figura 8. Casa de vegetação onde foi realizado o experimento

Foram feitos seis canteiros com dimensões de 1,50m de largura por 2,00m de comprimento ( $3,00\text{m}^2$ ), distantes lateralmente um do outro em 0,50m e, na parte central, em 0,70m por onde passaram as linhas de derivação do sistema de irrigação por gotejamento.

Três canteiros, denominados testemunha, foram irrigados com água de abastecimento (Tst1, Tst2 e Tst3), e os três restantes com água de reúso (RsA, RsB e RsC). Em cada canteiro foram colocadas oito sondas de TDR na profundidade de 0-20cm, posicionadas quatro de cada lado, no sentido do comprimento, seguindo o alinhamento das segundas fileiras da cultura no sentido borda-centro, intercalando-se entre as alfaces, com um espaçamento entre cada sonda de aproximadamente 0,60m.

Estas sondas foram ligadas a um Reflectômetro TDR 100 (Campbell Scientific, Logan-Utah), onde a condutividade elétrica e umidade do solo eram monitoradas, antes da irrigação em dias alternados.

O teor de água (umidade do solo) foi monitorado pela técnica da Reflectometria do Domínio do Tempo (TDR), conduzindo ao manejo da irrigação. O objetivo desse manejo foi o de manter a umidade na zona radicular da cultura, próximo à máxima capacidade de retenção de água no solo – capacidade de campo.

Neste experimento, foram conduzidos dois ciclos da cultura da alface crespa (*Lactuca sativa*, L), irrigada de acordo com o manejo da água no solo, em dias alternados a priori. Foram formados cinco linhas de plantas com espaçamento de 0,30m entre si no sentido longitudinal dos canteiros e, seis linhas com espaçamento de 0,35m entre plantas no sentido transversal dos canteiros, totalizando 30 plantas por canteiro e 180 plantas no total geral, conforme apresentado na Figura 9 onde mostra o posicionamento dos canteiros na casa de vegetação (estufa).

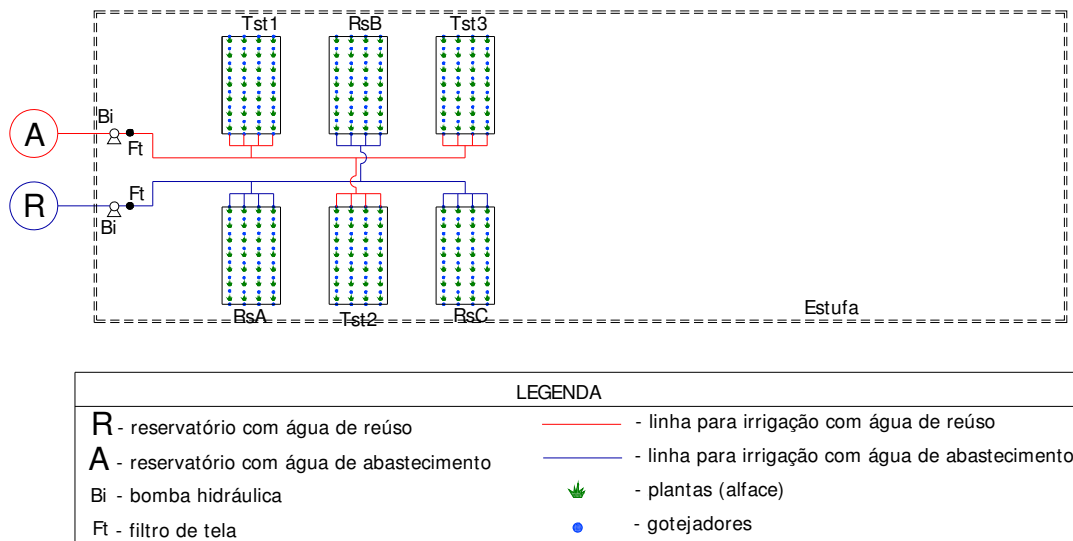


Figura 9. Posicionamento dos canteiros na casa de vegetação (estufa)

Foi utilizado um sistema por gotejamento, alimentado por um reservatório de 500L para a água de abastecimento e outro igual para a água de reúso. O número total de gotejadores por canteiro foi de 24, sendo que cada gotejador foi posicionado no sentido transversal dos canteiros entre duas plantas, e a 0,15m entre elas. Os gotejadores utilizados são do tipo labirinto da marca Plastro, modelo Tufftif. Conforme informações contidas no catálogo do fabricante, este modelo possui elevada resistência ao entupimento e vazão nominal de  $4,1\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$  e pressão de 1bar de coluna d'água.

De cada reservatório saiu uma linha primária percorrendo a parte central que separa os canteiros, e destas linhas, partiram as linhas secundárias para cada tipo de água, distribuídas de forma intercalada, conforme apresentado na Figura 10 onde aparecem também à cultura em diferentes fases.



(a) montagem das linhas de irrigação



(b) cultura no estágio inicial



(c) cultura em pleno desenvolvimento



(d) cultura no estágio de colheita

Figura 10 (a), (b), (c) e (d). Linha de canteiros e cultura em diferentes estádios

A água utilizada no experimento foi captada de um sistema fossa filtro composto de um tanque séptico seguido de um filtro anaeróbio. Esta água provém de efluentes de banheiros, cozinha e laboratórios do prédio central do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté

Com base na análise química de fertilidade do solo, realizado antes da montagem do experimento, foram programadas algumas correções necessárias, aplicando-se as quantidades recomendadas pelo Boletim 100 – IAC (Instituto Agrônomo de Campinas). Utilizou-se fertilizante a base de nitrato de cálcio solúvel (Calcinit), fornecendo nitrogênio nítrico e cálcio solúvel em água ao mesmo tempo, na proporção de 15,5% de N Total e 19% de Ca para 25kg do produto. Foi aplicado 1,4g deste produto a cada 15 dias durante os dois ciclos da cultura da alface.

Após o período de maturação e colheita do cultivar no final do segundo ciclo, foram coletadas amostras de solo em 6 pontos em cada parcela, sendo que um ponto em cada extremidade totalizando 4, alinhados entre si no sentido longitudinal e transversal, distantes 0,40m das bordas, e mais 2 pontos, também seguindo estes alinhamentos e mesma distância da borda, porém na parte mediana da parcela. De cada ponto deste, de cada parcela, foram retiradas duas amostras nas profundidades 0-10 e 10-20 cm. As 6 amostras, referentes as profundidades determinadas, foram depois de retiradas, homogeneizadas e levadas para análise química do solo [pH, H+Al, MO, P, K, Ca, Mg, CTC, V(%), B, Cu, Fe, Mn e Zn], e depois determinada a CE e calculada a PST.

Foram retiradas 3 amostras centrais de cada parcela distantes entre si 0,50m utilizando um trado de amostras indeformadas e cilindros de alumínio com 5,3cm de altura e 4,8cm de diâmetro, levadas para o Laboratório de Mecânica de Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Taubaté, onde foram realizados ensaios para a determinação da condutividade hidráulica saturada e densidade do solo.

Com relação às duas águas de irrigação (abastecimento e reúso), foram coletadas amostras de cada uma no intervalo médio dos dois ciclos do cultivar e levadas para o Laboratório de Análise de Águas e Efluentes Líquidos da Empresa de Pesquisa, Tecnologia e Serviços da Universidade de Taubaté (EPTS), onde foram analisados os parâmetros: pH, nitrato, sódio, potássio, cloreto, turbidez, dureza, coliformes termotolerantes, coliformes totais, CE e calculada a RAS.

Durante todo o período que o experimento foi realizado, foram feitas leituras de condutividade elétrica e umidade do solo, monitorando-os através do equipamento TDR, durante 3 vezes por semana, com intervalos de um dia entre eles.

Os resultados dos atributos físicos e químicos dos solo foram sistematizados em média, desvio padrão e coeficiente de variação nas duas camadas analisadas. A metodologia destes resultados segue de acordo com a utilizada por Alves et al. (2007), em que:

- parâmetro estudado =  $X$
- Série 1: área testemunha
- Média =  $X_1$
- Desvio Padrão =  $S_1$
- Série 2: área irrigada com reúso
- Média =  $X_2$

Utilizando a fórmula:

$$K^{(i)} = \frac{X_2^{(i)} - X_1}{S_1} \quad (3)$$

onde:  $i = \text{RsA, RsB e RsC}$  (parcelas de reúso)

Estes valores de  $K$  foram utilizados para a montagem de um gráfico “ $K$ ” versus “ $i$ ” para a visualização dos resultados.

O valor de “ $K$ ” expressa o quanto o parâmetro encontrado da amostra de solo irrigado ( $X_2$ ) se afasta da média testemunha em números de desvios padrões. Ainda seguindo a metodologia de Alves et al. (2007), quanto mais distante de zero, este fator de desvio mostra alterações sofridas pelo solo; ao passo que, quando os desvios são pequenos não apresenta grandes diferenças entre o solo irrigado com água de abastecimento e água de reúso. Desta forma, valores entre -1,0 a 1,0, sendo negativo ou positivo, não demonstra indício de que ocorreram alterações em função da irrigação com água de reúso.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Experimento em laboratório

Segundo Ribas e Fortes Neto (2007), o sistema de tratamento utilizado – leito de raízes cultivado, apresentou uma boa eficiência no tratamento do efluente bruto, gerando um efluente tratado dentro dos limites estabelecidos pela legislação no que diz respeito a sua aplicabilidade de reúso.

Em complemento aos valores apresentados na Tabela 3, foram encontrados na água de reúso aplicada na coluna, valores de nitrato ( $16 \text{ mg.L}^{-1}$ ), potássio ( $15 \text{ mg.L}^{-1}$ ), sódio ( $11 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e condutividade elétrica – CE ( $0,53 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Nota-se que segundo Paganini (2003), a literatura australiana – EPA (1991) classifica essa água de reúso, em função do valor de CE encontrado, como água de salinidade média, sugerindo quando de sua utilização um processo de moderada lixiviação.

Também foi encontrada uma turbidez no valor de 6,2 UNT, que segundo Blum (2003), e dados seguidos pela USEPA (1992) - que determina os requisitos mínimos de segurança bacteriológica para a água tratada, a água de reúso em questão só poderia ser utilizada na irrigação de culturas de plantas a serem consumidas cozidas ou não comestíveis.

Em relação a granulometria do solo utilizado e classificado como latossolo vermelho amarelo distrófico, a Tabela 4 mostra suas características antes e após a aplicação da água de reúso.

Tabela 4. Características granulométricas do solo antes e após a aplicação da água de reúso

	Areia	Silte	Argila	Densidade de partículas
	----- % -----			$\text{g.cm}^{-3}$
Antes da aplicação	62	6	32	2,55
Após aplicação	60	7	33	2,60



De acordo com o resultado apresentado na Tabela 4, pode-se classificar esse solo como areno-argiloso. A fração argila segundo Paganini (2003) requer maior atenção, pois altas concentrações de sódio dissolvem suas partículas, diminuindo a permeabilidade do solo e dificultando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Nota-se que houve pequena variação de frações.

Ainda segundo Paganini (2003), o controle da aplicação de água de reúso na agricultura deve ser rigoroso em função dos valores de salinidade e aplicação de sódio e de outros íons específicos. Esses valores podem ser medidos através da Condutividade Elétrica (CE) que estão diretamente relacionados às concentrações desses sais. Na Tabela 5 são mostrados os resultados destes valores médios após a aplicação de água destilada e água de reúso.

Tabela 5. Valores médios de salinidade, sodicidade, CE, Ksat e PST no solo após a aplicação de água destilada e água de reúso. Método da Pasta Saturada (RICHARDS, 1954)

Parâmetro	Após aplicação de água destilada	Após aplicação de água de reúso
Nitrato ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	15,33	14,33
Sódio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	4,00	15,00
Ksat ( $\text{mm.h}^{-1}$ )	32,10	23,00
PST (%)	0,50	2,00
CE ( $\text{dS.m}^{-1}$ )	0,07	0,12

Observa-se que mesmo aplicando água de reúso com valor de CE de  $0,53 \text{ dS.m}^{-1}$ , houve uma redução de 77,35% comparada ao valor encontrado de  $0,12 \text{ dS.m}^{-1}$  após a aplicação dessa água no solo, mesmo tendo ocorrido um aumento dos valores de sódio em 275%. Em contrapartida, os valores de CE de acordo com a literatura australiana – EPA (1991) classificariam a água como de salinidade baixa, permitindo seu uso na maioria das culturas e praticamente livre de ocorrências de problemas gerados pela sua salinidade, segundo Paganini (2003). Nota-se, portanto, que houve uma retenção do sódio no solo.

A condutividade elétrica (CE), extraída da solução aquosa do solo, tanto após a aplicação de água destilada quanto de água de reúso, demonstrou valores sempre abaixo dos

considerados prejudiciais as culturas, conforme pode ser observado na Figura 11, que demonstra os valores da condutividade elétrica (CE) em razão da quantidade e qualidade da água aplicada no solo. Antes do início da aplicação de água de reúso, os valores de CE encontravam-se na faixa inicial de  $0,09 \text{ dS.m}^{-1}$  e final de  $0,06 \text{ dS.m}^{-1}$ , demonstrando que ocorreu diminuição de sais devido ao processo de lixiviação causado pela aplicação de 15L de água destilada. Durante a aplicação dos 15L da água de reúso ocorreu um aumento de  $0,10 \text{ dS.m}^{-1}$  até  $0,14 \text{ dS.m}^{-1}$ . Portanto, nota-se que o uso contínuo deste tipo de água pode levar ao aumento da salinidade do solo, o que prejudicaria o desenvolvimento e a produção das culturas a serem implantadas, ao longo do tempo, sendo necessário promover aplicação de gesso ou cálcio para quebrar as moléculas de sódio e após fazer aplicação de água de abastecimento para a lixiviação de sódio, nitrato e outros sais. Desta forma, o acúmulo de sais em níveis toleráveis ao sistema solo-planta poderia ser controlado.

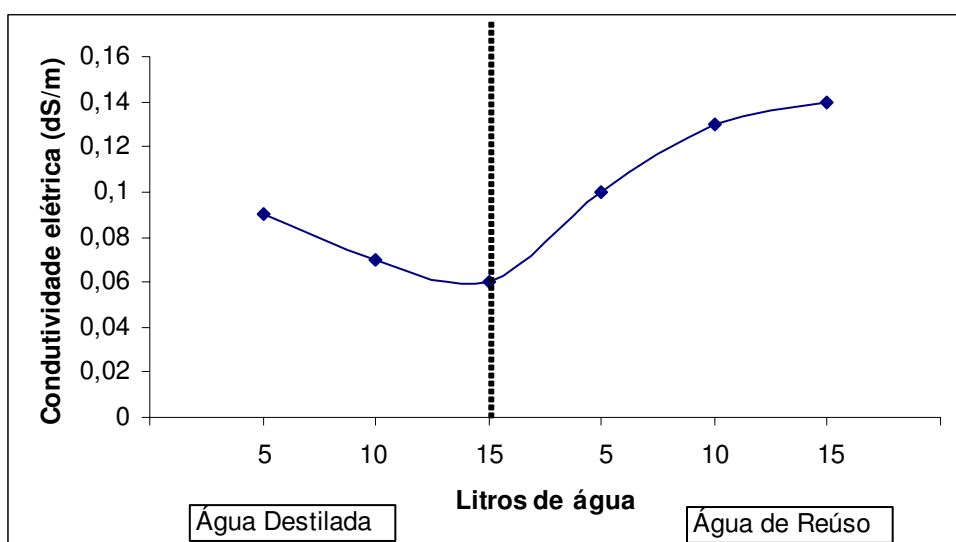


Figura 11. Valores da condutividade elétrica em razão da quantidade e qualidade da água aplicada no solo

Nota-se também o aumento progressivo dos valores de sódio (Na). Seu excesso diminui a permeabilidade do solo, reduzindo o processo de infiltração de água sua absorção pela planta. Observou-se uma concentração presente de sódio na água de reúso de  $9 \text{ mg.L}^{-1}$ . Durante a aplicação de água destilada o solo apresentou uma concentração de  $4 \text{ mg.L}^{-1}$  e após

a aplicação de água de reúso esse valor passou a  $15 \text{ mg.L}^{-1}$ , demonstrando que houve uma retenção desse sódio no solo.

Os valores da porcentagem de sódio trocável (PST) evidenciam o aumento desse sódio no solo (Tabela 6). Entretanto os valores encontrados não chegam a causar limitações no uso deste solo. De acordo com Ayres e Westcot (1991), o valor de RAS menor que 3 não indica nenhum grau de restrição agrícola. Entretanto, o PST deve ser monitorado e corrigido quando necessário.

Observou-se uma redução da condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) de 28,38% (Tabela 5). Isto poderia dificultar o desenvolvimento de culturas através da absorção dos nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura do solo, segundo Klein e Libardi (2002). Segundo Pereira (2006) os valores de condutividade hidráulica do solo quando inferiores a  $2,08 \text{ mm.h}^{-1}$  são considerados baixos; valores entre  $12,5 \text{ mm.h}^{-1}$  e  $41,67 \text{ mm.h}^{-1}$  são considerados médios; e, valores entre  $41,67 \text{ mm.h}^{-1}$  e  $208 \text{ mm.h}^{-1}$  são considerados altos. Neste caso, os valores encontrados antes e após aplicação da água de reúso classificam o solo como de média condutividade hidráulica.

A redução na condutividade hidráulica do solo poderia ser amenizada com a utilização de um filtro lento antes da aplicação da água de reúso, impedindo a obstrução dos poros do solo, visto que a água de reúso utilizada no experimento possui uma carga considerável de  $74 \text{ mg.L}^{-1}$  de DBO e sólidos suspensos.

Em relação às propriedades químicas do solo, a Tabela 6 apresenta os valores encontrados no solo natural e após a aplicação de água de reúso.

Tabela 6. Análise dos atributos químicos do solo antes (A) e após aplicação de água de reúso (B)

Amostra	pH	MO g.dm <sup>-3</sup>	P mg.dm <sup>-3</sup>	K -----mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----	Ca	Mg	H+Al
A	4,7	16	20	3,7	20	7	36
B	4,8	15	20	3,5	20	7	36

(a) - Métodos de extração: pH: Sol. CaCl<sub>2</sub>; M.O.: Àc.Sulfúrico; Resina: P, K, Ca, Mg; SMP – Acidez Potencial: H+Al; DTPA: micronutriente.

Amostra	SB ----mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> ----	CTC	V %	B	Cu	Fe	Mn	Zn
A	30	66,7	46	0,23	1,2	60	9,0	1,5
B	30,5	66,5	46	0,20	1,3	103	21,0	10,6

(b) - Métodos de extração: pH: Sol. CaCl<sub>2</sub>; M.O.: Àc.Sulfúrico; Resina: P, K, Ca, Mg; SMP – Acidez Potencial: H+Al; DTPA: micronutriente.

De acordo com a Tabela 6 observou-se apenas alterações nos parâmetros de Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). De acordo com Crook (1993), os valores encontrados para Ferro e Zinco estão dentro dos recomendados pela USEPA (1999), exceto para o Manganês, cujo índice recomendado seria de 0,2 mg.L<sup>-1</sup> num longo prazo e 10 mg.L<sup>-1</sup> num curto prazo. Acima deste valor seria considerado tóxico para vários tipos de cultura, entre alguns décimos e até algumas unidades de mg.L<sup>-1</sup> em solos ácidos.

O manganês é um dos micronutrientes requeridos para o crescimento normal das plantas. O excesso causa limitação no crescimento ocorrendo necrose e cloreose, aparecendo sua toxicidade inicialmente em folhas jovens. O excesso quanto a falta causa efeitos significativos na cultura, segundo Ferreira et al. (2001).

Os valores de pH mantiveram-se quase constantes durante os dois processos, o que evidenciou que a aplicação de água de reúso não alterou suas características no solo.

Demonstrou-se também que, apesar do aumento dos valores da CE, estes estavam sempre abaixo dos considerados prejudiciais às culturas. Apesar da água de reúso aplicada possuir uma CE de alto valor (Tabela 5), após sua aplicação houve uma redução de 77,35%,

comparada com a solução do extrato do solo. Outra observação, o cálcio e magnésio não foram alterados, o que aumenta a necessidade de monitoramento constante dos teores de sódio e, conseqüentemente, sua correção, para não provocar a dispersão das argilas e índices indesejáveis da PST, conforme descrita por Richards (1954).

## 5.2 Experimento em campo

Ao longo do experimento foram coletadas amostras das águas de abastecimento e de reúso utilizadas nas irrigações das parcelas testemunhas (Tst1, Tst2 e Tst3) e reúso (RsA, RsB e RsC) para determinação dos parâmetros pH, dureza, cloreto, turbidez, nitrato, sódio, condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio (RAS). Os resultados médios comparativos dos parâmetros das águas de irrigação são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores médios comparativos da qualidade da água de abastecimento e de reúso utilizadas nas irrigações

Parâmetros	Água de abastecimento	Água de Reúso
pH	7,80	7,20
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	66,12	94,90
Cloreto (mg.L <sup>-1</sup> )	4,60	77,20
Turbidez	0,90	15,00
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,06	0,09
Sódio (mg.L <sup>-1</sup> )	18,00	85,00
Potássio (mg.L <sup>-1</sup> )	15,00	29,00
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	0,21	0,99
RAS (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> )	1,50	6,10
Coliformes Totais (NMP/100ml)	-----	90.000
Termotolerantes (NMP/100ml)	-----	500

Como podem ser observados, os parâmetros analisados na água de reúso estão acima dos encontrados na água de abastecimento. De acordo com Ayers e Westcot (1991), os valores de sódio, CE e RAS possuem grau de restrição ao uso de leve a moderado; o valor de cloreto possui grau de restrição severo, e o valor de nitrato não possui nenhum grau de

restrição. Estes valores estão dentro das diretrizes para interpretação da qualidade de água para irrigação (Tabela 1).

Ainda de acordo com Ayers e Westcot (1991), a avaliação do parâmetro RAS é importante, pois está embutida a proporção Ca/Mg que avaliada conjuntamente com os teores de Na podem indicar que águas com excesso de magnésio produzem danos nas culturas, quando o solo não possui suficientes quantidades de cálcio para controlar seus efeitos. Sendo assim, analisando em conjunto a relação Ca/Mg com os teores de Na, nota-se que o efeito do excesso de Na se potencializa quando a relação Ca/Mg é pequena, pois o excesso de magnésio trocável no solo induz a deficiência de cálcio.

Foi observado um aumento da RAS aproximadamente de 306%. Este aumento pode estar diretamente relacionado às altas concentrações de sódio e potássio presentes na água de reúso (Tabela 8). Quando se aplica água salina no solo, sem um manejo adequado que conduza à lixiviação destes sais, pode causar problemas na permeabilidade do solo, dispersando a fração argila e diminuindo a taxa de infiltração, o que pode impedir o desenvolvimento radicular da planta. Freitas et al. (2007) encontrou alterações químicas de dois solos (Latosolo Amarelo Distrófico e Espodosolo Cárbico Hidromórfico) afetados pela salinidade da água, onde ocorreram aumentos dos teores de sódio e da RAS, além da PST do solo. De acordo com recomendações da USEPA (1992), valores de RAS inferiores a 3 não causam nenhum prejuízo; entre 3 e 9 – que seria o caso da água de reúso utilizada neste experimento, podem ocorrer prejuízos moderados. Acima destes valores, os prejuízos podem ser graves.

Segundo Paganini (2003), o controle da aplicação de água de reúso na agricultura deve ser rigoroso em função dos valores de salinidade e aplicação de sódio e de outros íons específicos. Esses valores podem ser medidos através da Condutividade Elétrica (CE) que estão diretamente relacionados às concentrações desses sais. Duarte (2006) concorda quando

afirma que a condutividade elétrica (CE) é um parâmetro que deve ser analisado conjuntamente com as concentrações de cloretos, sódios, cálcio, magnésio, bicarbonatos e sulfatos.

De acordo com Ayers e Westcot (1991) águas com CE abaixo de  $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$  podem ser utilizadas para a irrigação sem restrição ao seu uso. Já para a água de reúso utilizada no experimento, com CE era de  $0,99 \text{ dS.m}^{-1}$  (Tabela 7), foi realizado um monitoramento durante todo o período de execução.

Utilizou-se para o monitoramento da CE no solo durante as irrigações das parcelas, a técnica do TDR (Time Domain Reflectometry) proposta por Souza et al. (2006). Observou-se que houve variação considerável na CE do solo. Isto pode ser observado na Figura 12 onde é mostrada a avaliação da CE representada pelos valores de “K” *versus* “seqüências de leituras do TDR. Observa-se que conforme explicado na metodologia por Alves et al.(2007), o “K” representa o fator de desvio que expressa o quanto o valor do parâmetro analisado nas parcelas com aplicação de água de reúso (RsA, RsB e RsC) se afastam da média testemunha (Tst1, Tst2 e Tst3) em números de desvios padrões.

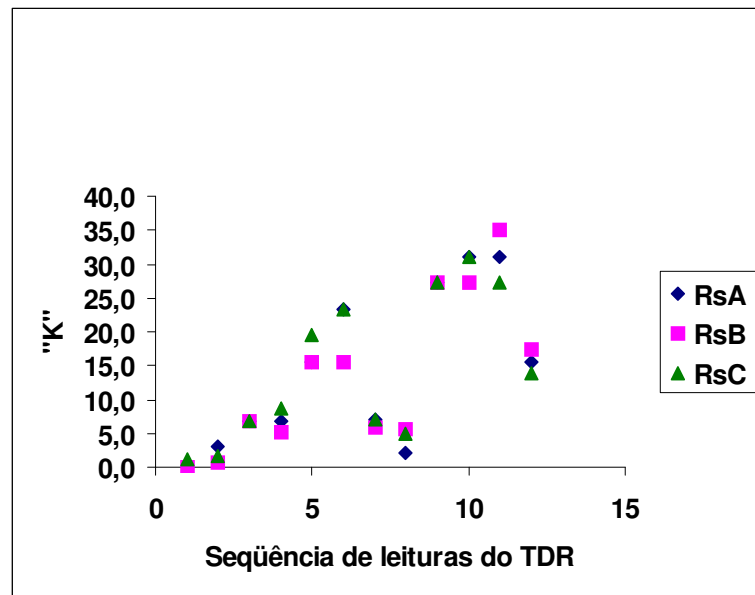


Figura 12. Avaliação da CE no solo através da representação dos valores de “K” (fator de desvio) das amostras das parcelas RsA, RsB e RsC (parcelas com água de reúso)

Apenas no início do experimento os valores de “K” ficaram dentro do intervalo de -1,0 a 1,0, indicando que até então não havia indício de alterações no solo em decorrência da aplicação da água de reúso. Porém, após a segunda leitura de TDR, notam-se as alterações crescentes entre as parcelas RsA, RsB e RsC comparadas com as parcelas testemunhas.

Foram também coletadas amostras de solos nas parcelas (Tst1, Tst2, Tst3, RsA, RsB e RsC) para a determinação de valores médios de nitrato, sódio, potássio, PST, condutividade elétrica, condutividade hidráulica e densidade do solo, conforme mostradas na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios de nitrato, sódio, CE, Condutividade Hidráulica e PST no solo após o término do experimento nas parcelas. Método da Pasta Saturada (RICHARDS, 1954)

Parâmetro	Parcelas Testemunhas	Parcelas com Reúso
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	42,00	83,80
Sódio (mg.L <sup>-1</sup> )	5,90	11,60
Condutividade Hidráulica (mm.h <sup>-1</sup> )	214,32	180,67
PST (%)	0,90	1,60
Densidade do solo (g.cm <sup>-3</sup> )	1,48	1,46
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	1,60	2,30



Verifica-se que não houve alteração na densidade do solo. Porém houve uma redução de 15,70% no valor médio da condutividade hidráulica, provavelmente devido a presença de matéria orgânica obstruindo os poros do solo (Tabela 8).

De acordo com Pereira (2006) os valores de condutividade hidráulica do solo quando inferiores a  $2,08 \text{ mm.h}^{-1}$  são considerados baixos; valores entre  $12,5 \text{ mm.h}^{-1}$  e  $41,67 \text{ mm.h}^{-1}$  são considerados médios; e, valores entre  $41,67 \text{ mm.h}^{-1}$  e  $208 \text{ mm.h}^{-1}$  são considerados altos. Nota-se que houve uma redução no valor médio da condutividade hidráulica das parcelas com reúso quando comparado aos valores das parcelas testemunhas; e que a redução de 15,70% em relação a parcela irrigada com água de reúso se encontra dentro dos valores determinados por Pereira (2006) para solos com alta condutividade hidráulica. No presente trabalho o uso de um filtro lento na saída da bomba de irrigação pode ter ajudado a diminuir a quantidade de material sólido suspenso na água de reúso, amenizando seus efeitos negativos no solo.

Em relação a CE do solo verificamos que nas parcelas testemunhas o solo se classificaria como não sódico e não salino, porém nas parcelas de reúso seria classificado como sódico, segundo a classificação de solos sódicos e salinos elaborada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, descrita por Richards (1954). Os sais adicionados ao solo através da aplicação da água de reúso podem reduzir a disponibilidade de água para a cultura, prejudicando o seu desenvolvimento. Como todos os solos contêm mistura de sais solúveis, que são essenciais para o desenvolvimento da cultura, o excesso por sua vez deve ser controlado.

Observa-se também um aumento da PST nas parcelas de reúso comparando-se as parcelas testemunhas (Tabela 8). Este aumento poderia com o tempo indicar uma sodificação do solo, e isto tem sido verificado com frequência na literatura científica em experimentos com água de reúso (ALVES et al., 2007; ARAÚJO et al., 2002; AYRES e WESTCOT, 1991;

BAUMGARTNER et al., 2007; DUARTE, 2006; FREITAS et al., 2007; MEDEIROS et al., 2005; MIRANDA et al., 2007; SANDRI, 2003).

Apesar da densidade do solo não ter sofrido grandes diferenças, o aumento da PST e CE indicando altas concentrações de sais no solo, podem ocasionar com o tempo dispersão das argilas; o que também poderia justificar a diminuição da condutividade hidráulica, além da matéria orgânica, ambos obstruindo os poros do solo.

Os valores médios dos parâmetros químicos do solo, encontrados após o término do segundo ciclo da cultura, estão apresentados na Tabela 9.

Observa-se que em relação ao pH, ocorreu no final do experimento uma acidificação do solo. As águas aplicadas (abastecimento e reúso) possuíam pH de 7,8 e 7,2 respectivamente. Nota-se que nas parcelas de reúso este processo foi maior. Salienta-se também que a fertilização nitrogenada amoniacal realizada durante o experimento pode ter contribuído para esta acidificação. De acordo com Santos & Pereira (2004) a redução do pH do solo irrigado com água de reúso e de abastecimento pode estar relacionada a nitrificação de fontes de N do solo. Duarte (2006) relatou que a adubação nitrogenada propiciou um acréscimo significativo do pH do solo, ocorrido provavelmente pela presença de cálcio no adubo utilizado (nitrato de cálcio). A importância do pH, muito ácido ou muito básico, pode ocasionar problemas de nutrição e toxicidade na cultura.

Tabela 9. Valores médios dos parâmetros químicos do solo encontrados nas parcelas testemunhas (Tst1, Tst2 e Tst3) e de reúso (RsA, RsB e RsC) após o término do segundo ciclo da cultura

Camadas	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
cm		g.dm <sup>-3</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----						%	----- mg.dm <sup>-3</sup> -					
		3	3	-----							-----					
Tst1	0-10	5,3	5,0	26,7	0,8	25,3	7,0	24,0	33,1	57,1	57,3	0,3	1,1	59,7	3,2	1,6
Tst2																
Tst3	10-20	4,9	4,9	12,0	0,9	21,0	9,0	23,0	30,9	53,9	57,7	0,3	1,0	61,3	3,4	1,1
RsA	0-10	4,6	4,6	24,0	1,4	28,3	8,7	31,7	38,4	66,7	57,3	0,4	1,0	57,3	4,6	1,4
RsB																
RsC	10-20	4,6	4,6	23,0	1,7	24,0	9,0	30,3	34,5	65,0	53,3	0,9	1,2	63,0	5,0	1,4

Métodos de extração: pH: Sol. CaCl<sub>2</sub>; M.O.: Ac. Sulfúrico; Resina: P, K, Ca, Mg; SMP – Acidez Potencial: H+Al; DTPA: micronutrientes

Observando-se os valores fósforo, cálcio e magnésio (Tabela 9), verifica-se que não houve diferença significativa entre as parcelas testemunhas e reúso, o que significaria que a aplicação de água de reúso não teria afetado a quantidade existente destes elementos no solo. Porém ressalta-se que de acordo com Silva & Raij (1999) e Duarte (2006) valores de fósforo acima de  $120 \text{ mg.dm}^{-3}$  são considerados altos para as hortaliças, e que valores de cálcio e magnésio acima de 7 e  $8 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$  também se encontram na faixa prejudicial a cultura.

Oliveira et al. (2000) constatou num experimento onde foi aplicado efluente de tratamento de esgoto num sistema de irrigação por subsuperfície para a cultura de pepino, aumento de Ca e Mg e diminuição de P no solo. Isto indicou o aproveitamento de muitos nutrientes pela cultura, pois, não foi encontrada diferença significativa nas amostras de solo e na sua solução, apesar da presença considerável destes elementos na água de reúso utilizada por ele.

Os teores de boro trocável nos solos (Tabela 9) se encontram de acordo com o Boletim 200 – IAC na faixa de teor médio. Apenas nas parcelas de reúso na profundidade de 10-20 cm foi encontrado teor de boro que enquadraria este solo como possuindo alto teor do elemento, acima de  $0,6 \text{ mg.dm}^{-3}$ . Azevedo (2004) afirma que o teor de boro disponível no solo não sofre mudanças em função da água utilizada na irrigação.

Os teores de cobre trocável (Tabela 9) se encontram altos (acima de  $0,8 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) de acordo com o Boletim 100 – IAC. Entretanto, estes teores não se diferem comparando-se as parcelas, o que indicaria que a água de reúso não interferiu na concentração deste elemento no solo, considerando que águas residuárias de origem domésticas geralmente possuem concentração baixa de cobre.

Não foi possível observar uma variação muito grande nos teores de ferro (Tabela 9) quando se comparando as parcelas testemunhas e de reúso, apesar dos valores encontrados

serem muito altos de acordo com o Boletim 200 – IAC. A alta presença deste elemento no solo pode ser dada a sua característica natural do local.

A mesma explicação pode ser dada para os teores de zinco (Tabela 9). Sua variação foi pequena em relação às parcelas estudadas e os valores encontrados se encontram dentro da faixa de alto teor de zinco no solo. A aplicação da água de reúso não causou efeito aumentativo do elemento no solo; ao contrário, houve um decréscimo de  $0,2 \text{ mg.dm}^{-3}$  nas médias das parcelas RsA, RsB e RsC. Isto pode ter ocorrido devido a presença de nitrogênio no solo e na água de reúso, o que favoreceu a retirada de zinco pela cultura desenvolvida.

Em relação aos teores de manganês (Tabela 9) nas parcelas estudadas, nota-se que os valores encontrados reportam um acréscimo médio de 45% em relação a aplicação da água de reúso. Apesar destes valores se encontrarem dentro do limite considerado médio, de acordo com Raij et al. (2001). Um dos principais fatores que afetam a solubilidade de manganês no solo é fator pH. Solos com valores de pH abaixo de 5,5 podem conter muito Mn solúvel. Neste caso, recomenda-se uma atenção especial no controle do teor de Mn, onde devido a acidez do solo, a calagem seria indicada para o controle da mesma. Sendo assim, Duarte (2006) salienta que os teores de Mn e seu acúmulo no solo dependem diretamente da água de reúso usada na irrigação, além do tipo de solo, e do período de aplicação desta água.

Aplicando a metodologia descrita por Alves et al. (2007) onde o fator “K” (fator de desvio) é analisado como o valor do parâmetro encontrado para a amostra de solo irrigado com água de reúso, e o quanto este se afasta da média das parcelas testemunha em números de desvios padrões, observa-se na Figura 13 a representação destes valores relacionados aos parâmetros químicos do solo após o término do segundo ciclo da cultura da alface.

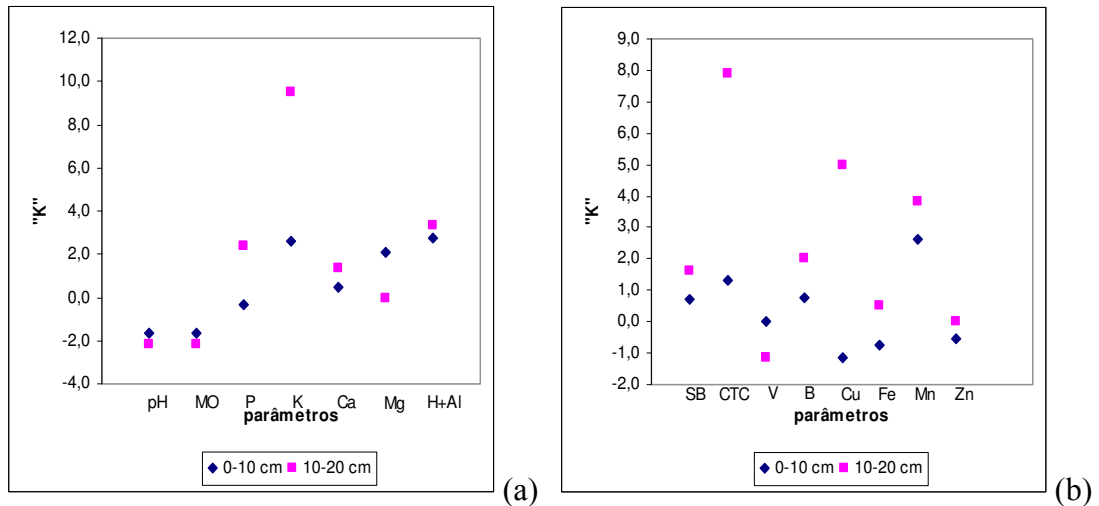


Figura 13 (a) e (b). Representação dos valores de “K” (fator de desvio) dos parâmetros químicos das amostras de solos das parcelas de reúso (RsA, RsB e RsC) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm

Observa-se que as camadas de solo estudadas foram afetadas pela irrigação de reúso em vários parâmetros e de forma diferente para cada camada. Apenas em relação ao pH, MO e H+Al as camadas embora afetadas pela água de reúso, se mantiveram próximas nas duas profundidades estudadas.

### 5.3 Considerações

(i) a água de reúso aplicada no solo possui valores dos parâmetros de qualidade mais altos em relação aos da água de abastecimento utilizada, porém, estão dentro dos valores normais de água para irrigação;

(ii) houve um aumento no valor da RAS, que classifica a água de reúso utilizada como uma água que pode causar prejuízo às culturas;

(iii) os valores de sais solúveis encontrados na água de reúso podem ter causado aumento dos sais no extrato de solução do solo. Isto explicaria as diferenças nos valores do fator de desvio (K) em relação a condutividade elétrica do solo;

(iv) não houve alterações na densidade do solo, porém, ocorreu uma diminuição na sua condutividade hidráulica;

(v) houve um aumento no solo de Fe, B, Cu e principalmente Mn, este em aproximadamente 45%;

(vi) Os valores do fator de desvio (K) nos parâmetros químicos de fertilidade dos solos demonstraram que P, K, Ca, Mg, H+Al, Cu, Mn e Zn se apresentaram afastados da média encontrada nos solos das parcelas testemunhas, evidenciando os efeitos da alteração no solo causada pela aplicação da água de reúso.

(vii) a utilização de água de reúso para fins agrícolas pode ter favorecido a absorção de nutrientes pela planta, principalmente o potássio, na cultura da alface;

(viii) a utilização de água de reúso deve ser de forma racional e monitorada principalmente com relação aos teores de sais aplicados no solo.

## 6. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos nos dois experimentos, conclui-se que:

(i) o aumento de alguns nutrientes e parâmetros de fertilidade do solo após a aplicação da água de reúso não alcançaram índices proibitivos da aplicação para uso agrícola;

(ii) a aplicação de água de reúso diminui a condutividade hidráulica do solo, comprovado pelos dois experimentos realizados;

(iii) a RAS e PST são parâmetros que devem ser avaliados constantemente devido ao aumento de sais solúveis causados pela aplicação da água de reúso;



## REFERÊNCIAS

- Airoidi, R.P.S. da. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento em irrigação com água residuária**. 140p. Dissertação de doutorado em Agronomia. Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- Alves, I.R.; Mota, S.; Santos, A.B.dos. **Avaliação das modificações nas propriedades de um solo pelo uso de esgoto doméstico tratado na irrigação do coqueiro**. Revista Tecnol. Fortaleza, v.28, n.1, p.42-50, 2007.
- Araújo, A.L. de; Köng, A.; Milanêz, J.G.; Ceballos, B.S.O. de. **Reúso indireto de esgotos na irrigação de colunas experimentais de solo cultivados com alface (*Lactuca sativa*, L.)**, In: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p.596-604, In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, Rio de Janeiro, 1999.
- Araújo, G.M.; Mota,S.; Araújo, A.L.C.; Oliveira, E.C.A.de. **Avaliação do potencial do reúso das águas residuárias tratadas, provenientes do sistema de lagoas de estabilização de Ponta Negra em Natal-RN**. In: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.1-11, In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Rio de Janeiro, 2002.
- Asano, T.; Levine, A.D. **Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future** – Water Science Technology, v.33, n.10-11, p.1-14, 1996.
- Ayres, R.S. & Westcot, D. W. Tradução: Gheyi, H.R.; Medeiros, J.F. & Damasceno, S.A.V. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 218p. 1991.
- Barbosa, G.M.C.; Tavares Filho, J.; Fonseca I.C.B. **Condutividade Hidráulica Saturada e não saturada de Latossolo vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto**. Revista Brasileira Ciência do Solo, 28: 403-407, 2004.
- Barreto, A.C.; Santana, M.J. de.; De Paula, J.C.; Pereira, W.E. **Resposta da alface Americana (*Lactuca sativa*, L.) a diferentes níveis de reposição de água no solo**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36. Bonito-MS. 2007.
- Baumgartner, D.; Sampaio, S.C.; Silva, T.R.da; Teo, C.R.P.A.; Vilas Boas, M.A. **Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface**. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.1, p.152-163, jan./abr. 2007
- Bernardi, C.C. **Reúso de água para irrigação**. 52p. Monografia-MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, área de concentração Planejamento Estratégico. ISAE-FGV/ ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003.

Blum, J.R.C. **Crítérios e padrões de qualidade da água**. In: Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. dos; Philippi Jr, A (Coord.) **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, p.125-174, 2003.

Boletim Técnico – IAC – Instituto Agrônômico de Campinas, n.100, 1998.

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

Brewer. R.; Sleeman, J.R. **Soil structure: attempts at its quantitative characterization**. Journal of Soil Science, n.11, p. 172-185, 1960.

CIRRA – Centro Internacional de Referência em reúso de água. Reúso de água. Universidade de São Paulo. 2002. Disponível na internet: [www.usp.br/cirra/reusos](http://www.usp.br/cirra/reusos).

Coelho, A. I. M.; Campos, M. T. F. de S.; Lopes, M. L. M.; Novaes, J. F. de. **Dia mundial da alimentação: duas décadas no combate aos problemas alimentares mundiais**. Revista Nutrição. Campinas. 18(3); p.401-418, maio/jun. 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente.

Crook, J. **Crítérios de qualidade da água de reúso**. Trad. Santos, H.F., In: Revista DAE, v.174, p.8-10, 1993.

Christofidis, D. **Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável**. Revista Ciências Exatas, Taubaté, v.12, n.1, p.37-46, 2006.

Daker, A. **Irrigação e Drenagem: água na agricultura**. 7ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988, v.3. 543p.

Dirksen, C. **Unsaturated hydraulic conductivity**. In: Smith, K.A. & Mullins. C.E., eds. Soil analysis: physical methods. New York, Marcel Dekker. p.209-269. 1991.

Duarte, A.de S.; **Reúso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annum*, L.)**. 187p. Tese de doutorado em agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p. 1999.

EPA – Environmental Protection Agency. In: **National Primary Drinking Water Regulations Current Drinking Water Standards**. Office of Water. 1991.

Felizatto, M.R.; ETE CAGIF: **Projeto integrado de tratamento avançado e reúso direto de águas residuárias**. In: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.1-17, In: Congresso Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, Rio de Janeiro, 2000.

Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P.da; Raij, B.van; Abreu, C.A. de. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal. Ed. Potafos, 596p. 2001.

Filgueira, F.A.R. **Manual de olericultura**. 2ed. São Paulo: Agronômica Ceres. 687p. 1982.

Fink, D.R.; Santos, H.F. **A legislação de reúso no Brasil**. In: Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. dos; Phillippi Jr, A. (Coord.) **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, p.37-95. 2003.

Fiori, M.G.S.; Smaniotto, A.; Malmann, L.; Dieter, J.; Sampaio, S.C.; Nobrega, L.H. **Modificações na densidade do solo cultivado com milho frente ao uso de água residuária da suinocultura**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36, Bonito – MS, 2007.

Freitas, E.V.S.; Fernandes, J.G.; Campos, M.C.C.; Santos Freire, M.B.G dos. **Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina**. Revista de Biologia e Ciências da Terra. v.7, n.1, 1º semestre, p.21-28, 2007.

Gloaguen, R.A.B.G. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades físico-hídricas de um latossolo**. 119p. Tese de doutorado em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

Guidolin, J.C. **Reúso de efluentes**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos. Ministério do Meio Ambiente, 2000.

Gupta, S.C.; Dowdy, R.H.; Larson, W.E. **Hdraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge**. Soil Science Society. Am.J., 41:601-605, 1977.

Hespanhol, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. dos; Phillippi Jr, A (Coord.) **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, p.37-95. 2003.

Hillel, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 231p. 1970.

Jong van Lier, Q.; Libardi, P. L. **Variabilidade dos parâmetros da equação que relaciona a condutividade hidráulica com a umidade do solo no método do perfil instantâneo**. Revista Brasileira Ciência do Solo, 23:1005-1014, 1999.

Klein, V.A.; Libardi, P.L. **Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.26, p.857-867. 2002.

König, A.; Ceballos, B.S.O. de; Santos, A.V. dos; Cavalcante, R.B.; Andrade, J.L. de S.; Tavares, J.L.; **Uso de esgoto tratado como fonte de água não convencional para irrigação de forrageiras**. In: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p.2072-2081, In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19. Rio de Janeiro, 1998.

Leon, S.G.; Cavallini, J.M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de Ghery, H.R.; König, A.; Ceballos, B.S.O.; Damasceno, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 108p. 1999.

Lima, J.E.F.W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. Documentos 33. 2001.

Lima, S.M.S.; Henrique, I.N.; Ceballos, B.S.O. de; Souza, J.T. de; Araújo, H.W.C. de. **Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.9, (suplemento), p.21-25. Campo Grande-PB, 2005.

Magesan, G.N.; Williamson, J.C.; Sparling, G.P.; Schipper, L.A.; Lloyd-jonnes, A.R. **Hydraulic conductivity in soils irrigated with wastewaters of differing strengths: field and laboratory studies**. Australian Journal of Soil Research, Sidney, v.37, p.391-402, 1999.

Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. dos. **A escassez e o reúso de água em âmbito mundial**. In: Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. dos; Philippi Jr, A. (Coord.) **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, p.1-19. 2003.

Marouelli, W.A.; Silva, H.R. da. **Aspectos Sanitários da água para fins de irrigação**. Comunicado Técnico da EMBRAPA Hortaliças. Brasília, 7p. 1998.

Medeiros, S. de S.; Soares, A.A.; Ferreira, P.A.; Souza, J.A.A. de; Souza, J.A. de; Matos, A.T. de. **Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, (suplemento), p.268-273, Campina Grande-PB, 2005.

Meener, 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, Sydney, v.39, p.877-891, 2001.

Mehnert, D.U. **Reúso de efluente doméstico na agricultura e a contaminação ambiental por vírus entéricos humanos**. *Biológico*, v.65, n.1/2, p.19-21, São Paulo, 2003.

Mesquita, M. da G.B. de.F.; Moraes, S.O.; **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo**. *Revista Ciência Rural*, v.34, n.3, p.963-969, Santa Maria-RS, 2004.

Miranda, F.R.de; Souza Jr, F.E.A.; Lima, R.N. de; Crisóstomo, L.A.; Santana, M.G.S. de; **Reúso de efluentes da carcinicultura de águas interiores na irrigação do arroz: estudo das alterações químicas no solo**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36. Bonito – MS, 2007.

Mmolawa, K.; Or, D. **Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review**. *Plant and soil*, v.222, p.163-190. 2000.

Moraes, D.S de L.; Jordão, B.Q. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana**. Revista Saúde Pública, 36 (3): 370-4, 2002.

Oliveira, E.L.da; Pereira, R.A.C.B.; Leopoldo, P.R. **Reúso de efluente de tratamento de esgoto em irrigação por subsuperfície**. In: ABES – Trabalho Técnico, p.1-8, In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, Rio de Janeiro, 2000.

Paganini, W.da S. **Reúso da água na agricultura**. In: Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. dos; Philippi Jr, A (Coord.) **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, p.339-401. 2003.

Pauletto, E.A.; Libardi, P.L.; Manfron, P.A.; Moraes, S.O. **Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água**. Revista Brasileira Ciência do Solo, 12:189-195, 1988.

Pereira, E.R. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reúso na ambiente agrícola**, 2006. 1312 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia). Esalq. Piracicaba, 2006.

Philippi Jr, A. **Reúso de água: uma tendência que se firma**. In: Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. dos; Philippi Jr, A. (Coord.) **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, p.1-19. 2003.

Reichardt, K. **A água em sistemas agrícolas**. Barueri, SP: Manole, 118p. 1990.

Reichardt, K.; Timm, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 1ed. 2004.

Reis, L.B. dos; Fadigas, E.A.A.; Carvalho, C.E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, p.16-57. 2005.

Rezende, J.O. **Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais: Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROM, 1997.

Ribas, T.B.C; Fortes Neto, P. **Avaliação do desempenho da estação de tratamento de esgoto compacta por leito de raízes implantada no município de Jacareí/SP**. In: Congresso de Saúde e Qualidade de Vida do Cone Leste Paulista, 4., 2006, São José dos Campos. Anais...Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), 2006.

Richards, L.A. (Ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

Sandri, D. **Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leito cultivados com macrófitas**. 207p. Dissertação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

Sandri, D.; Matsura, E.E.; Testezlaf, R. **Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária**. Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.11, n.1, p.17-29, Campina Grande,PB. 2006.

Santos, D.C. dos; Malinowski, A. **Programa de conservação de água no meio urbano: uma aplicação enfocando o reúso da água**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. (suplemento). v.9, p.171-175, Campina Grande-PB, 2005.

Santos, J.L. dos; Travassos, K.D.; Figueiredo, I.C.M.; Santos, C.B. dos; Lima, V.L.A. de. **Uso de irrigação com água residuária doméstica no cultivo da mamoeira**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36. Bonito-MS. 2007.

Santos, S.R dos; Pereira, G.M. **Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.569-577, set/dez, 2004.

Selborne, L. **A ética do uso da água doce: um levantamento**. Brasília: UNESCO, 80p. Série Meio Ambiente, v.3. 2001.

Silva, E.L.; Pereira, G.M.; Carvalho, J.A.; Vilela, L.A.; Faria, M.A. **Manejo de irrigação das principais culturas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 85p. 2000.

Silva, F. C. da; Raij, B. V. **Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.2, p.267-288, fev, 1999.

Silva, J.P.; Hespanhol, I. **Reúso de água: efluentes tratados como água de processo na indústria de curtimento de couros – estudo de caso: ETA Franca (SABESP) – Distrito Industrial de Franca**. In: Simpósio de Gerenciamento Ambiental na Indústria, 5. São Paulo. Anais...NISAM, p.1-14. 2002.

Souza, C.F.; Sandri, D.; Matsura, E.E.; Testezlaf, R. **Construção de sondas de TDR para a irrigação**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, Foz do Iguaçu, 2001. Anais... Foz do Iguaçu: SBEA/Unioeste, 2001. [CD ROM]

Souza, C.F.; Folegatti, M.V.; Matsura, E.E.; Or, D. **Calibração da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) para a estimativa da concentração da solução no solo**. Revista Engenharia Agrícola, v.26, n.1, p.282-291. 2006.

Souza, J.T.; Leite, V.D.; Luna, J.G.de. **Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, p.107-110. 2001.

Tommaselli, J.T.G.; Bacchi, O.O.S. **Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solo**. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília, v.36, n.9, p.1145-1154, 2001.

USEPA. US Environmental Protection Agency. In: **Guidelines for Water Reuse**. EPA/625/R-92/004. Washington, 1992.

Viana, S.M.S.; Henrique, I.N.; Ceballos, B.S.O. de; Souza, J.T. de; Araújo, H.W.C. de. **Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, (suplemento), p.21-25, Campina Grande, PB, 2005.

Von Sperling, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.1, 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. 452p.

WHO – World Health Organization. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Of a WHO meeting of experts. Technical report series, n.517. Genebra, 1973.

WHO/UNICEF: **Water for Life – making it happen**. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for water Supply and Sanitation. 2005.

WPCF – Water Pollution Control Federation. In: **Water Reuse Manual of Practice**. 2 ed. Virginia, 1989.

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Antonio Cláudio Testa Varallo  
Taubaté, 10 de dezembro de 2008