

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO E CULTIVO DE ALFACE  
SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

**MURIEL CRISTIANE KOJUNSKI PINTO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,  
para a obtenção do título de Mestre em  
Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU – SP  
Agosto - 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO E CULTIVO DE ALFACE  
SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

**MURIEL CRISTIANE KOJUNSKI PINTO**

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz

Co-orientador: Prof. Dr. Elisandro Pires Frigo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,  
para a obtenção do título de Mestre em  
Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU – SP  
Agosto – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO -  
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA  
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P659c Pinto, Muriel Cristiane Kojunski, 1986-  
Contaminação do lençol freático e cultivo de alface sob irrigação com  
água residuária / Muriel Cristiane Kojunski Pinto. - Botucatu : [s.n.],  
2011

viii, 70 f. : gráfs. color., tabs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011

Orientador: Raimundo Leite Cruz

Co-orientador: Elisandro Pires Frigo

Inclui bibliografia

1. Alface - Irrigação. 2. Águas residuais. 3. Reúso da água. 4. Água -  
Reutilização. I. Cruz, Raimundo Leite. II. Frigo, Elisandro Pires. III.  
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de  
Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

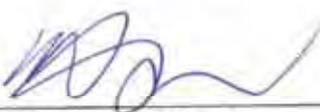
**TÍTULO: "CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO E CULTIVO DE ALFACE  
SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA"**

**ALUNA: MURIEL CRISTIANE KOJUNSKI PINTO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ**

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR

  
\_\_\_\_\_  
PROFA. DRA. ALESSANDRA MONTEIRO DE PAULA

Data da Realização: 05 de agosto de 2011.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus.

Aos meus pais, que são meus exemplos de vida, sempre me apoiando em todos os momentos da minha vida, e que me proporcionaram todas as oportunidades, possibilitando que eu concluísse mais esta etapa.

À minha irmã Mariana, pelo companheirismo e amizade.

Ao Miguel, por sempre estar ao meu lado, por seu apoio e amizade, que foram fundamentais.

Ao meu orientador, Raimundo Leite Cruz, pela orientação, por seus ensinamentos e disponibilidade em auxiliar.

Ao meu co-orientador, Elisandro Pires Frigo, pelas colaborações e auxílios, desde antes do início do mestrado.

Ao professor Antonio Evaldo Klar, que sempre esteve disponível para tirar dúvidas e colaborar com o desenvolvimento do trabalho.

Ao José Israel Ramos, que foi fundamental para a realização deste trabalho, sempre disposto a ensinar e ajudar no que era preciso.

Ao Gilberto, por seu auxílio no desenvolvimento do experimento.

À Alessandra, Rígleia, Francilene e Jaime, que colaboraram para a realização do experimento.

À SABESP, por ceder a água de reuso para realização do experimento.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural da FCA/Unesp.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	9
SUMMARY .....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1 Escassez e reuso de água .....	13
2.2 Reuso na agricultura .....	15
2.3 Irrigação com efluente de tratamento de esgoto.....	17
2.4 Caracterização e importância das águas subterrâneas .....	19
2.5 Contaminação da água subterrânea pela irrigação com água residuária .....	20
2.6 Consequências da contaminação das águas por nitrogênio .....	22
2.6.1 Amônia .....	22
2.6.2 Nitrato.....	23
2.6.3 Nitrito .....	24
2.7 Preservação das águas subterrâneas .....	24
2.8 Cultivo de alface.....	25
2.8.1 Repolhuda-manteiga .....	26
2.8.2 Produtividade e contaminação pela irrigação com água residuária.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Solo.....	30
3.2 Cultura .....	31
3.3 Águas de irrigação .....	31
3.4 Sistema e manejo de irrigação.....	32
3.5 Percolado .....	33
3.6 Delineamento experimental.....	34
3.7 Parâmetros avaliados no percolado .....	34
3.8 Variáveis relacionadas à cultura .....	35
3.9 Análise estatística .....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
4.1 Avaliação do percolado do solo.....	37

4.1.1 pH .....	37
4.1.2 Condutividade elétrica.....	40
4.1.3 Nitrato .....	42
4.1.4 Nitrito .....	47
4.1.5 Amônia .....	49
4.2 Avaliação do cultivo da alface.....	51
4.2.1 Massa fresca total .....	51
4.2.2 Massa fresca comercial.....	52
4.2.3 Altura .....	53
4.2.4 Circunferência .....	54
4.2.5 Número de folhas.....	55
4.2.6 Massa seca comercial .....	56
4.3 Análise foliar de macronutrientes.....	56
4.4 Análise foliar de micronutrientes .....	58
4.5 Análise de contaminação microbiológica da cultura.....	60
5 CONCLUSÕES .....	61
6 CONSIDERAÇÕES .....	62
7 REFERÊNCIAS .....	63

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
Tabela 1. Caracterização física do solo da área experimental.....	30
Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental.....	30
Tabela 3. Análise química das águas de irrigação.....	32
Tabela 4. Lâmina de irrigação acumulada nos três ciclos .....	33
Tabela 5. pH no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 1º ciclo da cultura .....	38
Tabela 6. pH no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 2º ciclo da cultura .....	38
Tabela 7. pH no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 3º ciclo da cultura .....	38
Tabela 8. CE no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 1º ciclo da cultura, expresso em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .....	40
Tabela 9. CE no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 2º ciclo da cultura, expresso em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .....	40
Tabela 10. CE no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 3º ciclo da cultura, expresso em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .....	41
Tabela 11. Nitrato no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 1º ciclo da cultura, em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .....	42
Tabela 12. Nitrato no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 2º ciclo da cultura, em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .....	42
Tabela 13. Nitrato no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 3º ciclo da cultura, em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .....	42
Tabela 14. Nitrito no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 1º ciclo da cultura, em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .....	47
Tabela 15. Nitrito no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 2º ciclo da cultura, em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .....	47
Tabela 16. Nitrito no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 3º ciclo da cultura, em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .....	47

Tabela 17. Amônia no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 1º ciclo da cultura, em mg.L <sup>-1</sup> .....	49
Tabela 18. Amônia no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 2º ciclo da cultura, em mg.L <sup>-1</sup> .....	50
Tabela 19. Amônia no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 3º ciclo da cultura, em mg.L <sup>-1</sup> .....	50
Tabela 20. Macronutrientes na folha da alface, em função de diferentes águas de irrigação, no 1º ciclo, em g.kg <sup>-1</sup> .....	56
Tabela 21. Macronutrientes na folha da alface, em função de diferentes águas de irrigação, no 2º ciclo, em g.kg <sup>-1</sup> .....	57
Tabela 22. Macronutrientes na folha da alface, em função de diferentes águas de irrigação, no 3º ciclo, em g.kg <sup>-1</sup> .....	57
Tabela 23. Micronutrientes na folha da alface, em função de diferentes águas de irrigação, no 1º ciclo, em mg.kg <sup>-1</sup> .....	58
Tabela 24. Micronutrientes na folha da alface, em função de diferentes águas de irrigação, no 2º ciclo, em mg.kg <sup>-1</sup> .....	58
Tabela 25. Micronutrientes na folha da alface, em função de diferentes águas de irrigação, no 3º ciclo, em mg.kg <sup>-1</sup> .....	59

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
Figura 1. Casa de vegetação .....	30
Figura 2. Variação na concentração de nitrato no percolado a 25 cm, em mg.L <sup>-1</sup> .....	46
Figura 3. Variação na concentração de nitrato no percolado a 50 cm, em mg.L <sup>-1</sup> .....	46
Figura 4. Massa fresca total, em gramas, para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação .....	51
Figura 5. Massa fresca comercial, em gramas, para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação .....	52
Figura 6. Altura, em centímetros, para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação .....	53
Figura 7. Circunferência, em centímetros, para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação .....	54
Figura 8. Número de folhas para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação .....	55
Figura 9. Massa seca comercial, em gramas, para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação .....	56

## RESUMO

A água vem se tornando um recurso cada vez mais escasso, sendo necessário utilizá-la com maior cautela. Sabe-se que a agricultura é a atividade que mais consome água, deve-se então encontrar formas de minimizar a utilização na irrigação de água própria para o consumo humano. Sendo a agricultura uma atividade em que se pode utilizar águas de qualidade inferior, sem comprometer a cultura, o reúso de água surge como uma alternativa para reduzir o consumo de água de boa qualidade. Porém, faz-se necessário determinar se a reutilização de água é um método seguro ambientalmente, além de garantir que a produção seja satisfatória e sem ocorrência de contaminação da cultura. Assim, o presente trabalho teve como objetivo verificar o potencial de contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido à irrigação com efluente do tratamento de esgoto, bem como, avaliar o cultivo da cultura da alface e a ocorrência de contaminação microbiológica na mesma. Para tanto, foram determinadas as concentrações das formas de nitrogênio presentes no percolado de área irrigada com água residuária, bem como, os parâmetros de crescimento e contaminação da alface por *Salmonella*. Observou-se, no percolado de área irrigada com água residuária, concentrações de nitrato de 33,14 a 47,97 mg.L<sup>-1</sup> a 25 cm de profundidade e de 17,73 a 141,9 mg.L<sup>-1</sup> a 50 cm de profundidade. Já as concentrações de nitrito e amônia foram inferiores, com o nitrito apresentando, a 25 cm de profundidade, concentrações de 0,0083 a 0,0301 mg.L<sup>-1</sup> e a 50 cm as concentrações ficaram entre 0,0059 a 0,0119 mg.L<sup>-1</sup>. Para a amônia as concentrações ficaram entre 0,215 e 0,527 mg.L<sup>-1</sup> a 25 cm de profundidade e a 50 cm de profundidade as concentrações foram de 0,279 a 0,814 mg.L<sup>-1</sup>. Também se verificou que os parâmetros de crescimento da cultura foram superiores para a irrigação com água residuária, além disso, a cultura da alface não apresentou contaminação por *Salmonella*, estando de acordo com o exigido pela legislação sobre hortaliças.

GROUNDWATER CONTAMINATION AND LETTUCE GROWTH UNDER WASTEWATER IRRIGATION. Botucatu, 2011. 70p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MURIEL CRISTIANE KOJUNSKI PINTO

Adviser: RAIMUNDO LEITE CRUZ

## SUMMARY

The water is becoming a scarce resource, being necessary to use it with more caution. It is known that agriculture is the activity that consumes more water, so is needed to find ways of minimize the use in irrigation of water adequated to human consumption. The agriculture is an activity that can receive water of lower quality, with no compromise of the culture, so the water reuse is an alternative to reduce the use of water with better quality. However, it is necessary to determine if the water reuse is environmentally safe and if it guarantees satisfactory production with no contamination of the culture. Thus, the present work aimed to verify the potential of contamination of groundwater by nitrogen due to irrigation with effluent of sewage treatment, and also, evaluate the lettuce growth and microbiological contamination. So, it was determined the concentrations of nitrogen forms present in the leachate from area irrigated with wastewater, as well as the growth parameters and contamination of lettuce by *Salmonella*. It was observed in the leachate from area irrigated with wastewater, concentrations of nitrate from 33,14 to 47,97 mg.L<sup>-1</sup> at 25 cm deep, and 17,73 to 141,9 mg.L<sup>-1</sup> at 50 cm deep. But the nitrite and ammonia concentrations were lower, with nitrite presenting, at 25 cm deep, concentration of ,0083 to 0,0301 mg.L<sup>-1</sup>, and at 50 cm the concentrations were from ,0083 to 0,0301 mg.L<sup>-1</sup>. To ammonia the concentration were between 0,215 and 0,527 mg.L<sup>-1</sup> at 25 cm deep and at 50 cm deep the concentrations were from 0,279 to 0,814 mg.L<sup>-1</sup>. It was verified that the parameters of crop growth were higher for the irrigation with wastewater, besides, there were no microbiological contamination of the lettuce, being in accordance with the legislation of vegetables.

Keywords: Water reuse, wastewater, lettuce.

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental tanto para a manutenção da vida, como para a realização das atividades humanas. Com isto, devido ao crescimento populacional e desenvolvimento das atividades econômicas, houve um aumento na demanda por água, o que tem levado a sérios problemas de escassez deste recurso.

Além da diminuição da disponibilidade de água, existe o problema que ocorre após o uso da mesma, pois esta se transforma em esgoto, o qual pode causar danos ambientais se disposto sem tratamento adequado. Porém, mesmo depois de tratado, o esgoto continua sendo um problema, pois gera o efluente do tratamento, o qual geralmente é lançado em corpos hídricos, e caso não esteja dentro dos padrões exigidos pela legislação, pode causar danos ao corpo receptor.

Apesar de representar um risco ambiental quando disposto de forma inadequada, o efluente do tratamento de esgoto apresenta características que o tornam elegível para a irrigação de culturas. Sendo a agricultura a atividade que mais consome água no Brasil, este efluente pode deixar de ser um risco aos corpos hídricos, para proporcionar uma alternativa ao problema de escassez de água, evitando ao mesmo tempo a contaminação dos corpos hídricos.

Por um lado, o reuso deste efluente na agricultura pode trazer vários benefícios, tanto ambientais como econômicos, porém, por possuir grande concentração de

nutrientes, principalmente nitrogênio, pode se constituir em um potencial de contaminação das águas subterrâneas. Caso os nutrientes sejam aplicados em excesso e ultrapassem as necessidades das culturas, eles podem ser perdidos por lixiviação e atingir o lençol freático, sabendo-se que altas concentrações de nutrientes, como algumas formas do nitrogênio, são prejudiciais aos corpos hídricos e também à saúde, caso sejam ingeridos com a água.

Além desta preocupação, o esgoto também apresenta grande quantidade de microorganismos, como vírus, protozoários e bactérias, que podem contaminar as culturas irrigadas, causando doenças nos consumidores.

Faz-se necessário então, estudar a irrigação com efluentes do tratamento de esgoto, buscando detectar se existem riscos ambientais, além do risco de contaminação das culturas e sua eficiência no cultivo das mesmas, para que deste modo, esta importante alternativa de reuso possa ser utilizada sem restrições.

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido à irrigação com efluente do tratamento de esgoto doméstico, bem como, avaliar o cultivo e a ocorrência de contaminação microbiológica na cultura da alface.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Escassez e Reúso de Água**

A água é um recurso natural finito e essencial à vida, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies, como elemento representativo de valores sociais e culturais, além de importante fator de produção no desenvolvimento de diversas atividades econômicas (BERNARDI, 2003).

Este recurso foi por muito tempo considerado pela humanidade como inesgotável e, talvez por isso, mal gerido. Devido a isto não faltam exemplos de escassez de água doce, observada pelo abaixamento do nível dos lençóis freáticos, o encolhimento dos lagos, a secagem dos pântanos, várias regiões do mundo possuem este panorama exacerbado (FLORENCIO et al., 2006).

Em função da constante expansão demográfica e da evolução tecnológica, quantidades maiores de água são exigidas, pois esse recurso é utilizado em todos os setores da economia mundial, apresentando forte ligação com o desenvolvimento dos países, ou seja, quanto mais desenvolvido for um país, maior será sua necessidade por água, seja para abastecimento da população, ou para o funcionamento de indústrias, usinas hidrelétricas e produção de alimentos (MATTOS, 2003).

Observa-se a cada dia que a água, em escala mundial, é um recurso cada vez mais escasso, seja pelo crescimento da população e de atividades econômicas, com aumento da demanda, seja pela redução da oferta (BERNARDI, 2003).

Além das possíveis restrições futuras quanto a disponibilidade de água no tocante a aspectos quantitativos, há que se considerar também os aspectos qualitativos. Os diversos tipos de poluição são os principais causadores da redução e pronta disponibilidade de água quando se refere aos aspectos qualitativos (MATTOS, 2003).

Assim, a disponibilidade deste recurso natural é cada vez menor, tanto em quantidade como qualidade. Sua utilização pelo homem transforma-a, de potável, em residuária ou esgoto, pela introdução de substâncias indesejáveis de caráter físico, químico e principalmente microbiológico que alteram sua qualidade (FUNASA, 2007).

Deste modo, além da escassez hídrica, que é grave em diversas regiões, deve-se considerar a questão da poluição concentrada e difusa de corpos hídricos. Processos de eutrofização, metais pesados, acidificação, poluentes orgânicos e outros efluentes tóxicos degradam os corpos hídricos de áreas densamente povoadas, comprometendo assim a qualidade da água (BERNARDI, 2003)

O panorama se torna ainda mais dramático, quando se constata, simultaneamente, a deterioração dos mananciais de abastecimento, como resultado, dentre outros fatores, do baixo nível de cobertura dos serviços de tratamento de águas residuárias, da fragilidade da implementação de políticas de proteção de mananciais, da não observação de boas práticas agropecuárias (FLORENCIO et al., 2006).

Diante desse panorama é clara a necessidade de se utilizar esse recurso natural com maior racionalidade, seja através de técnicas que permitam um aproveitamento mais eficiente da água em diversas atividades humanas, ou através da busca de fontes alternativas de água (DUARTE, 2006).

Sendo que a importância da água quanto a sua quantidade, qualidade e preservação vem sendo o principal tema de debates entre profissionais e pesquisadores envolvidos com saneamento e meio ambiente, pois o homem já se sensibilizou quanto à notória progressão de população no planeta e decrescente disponibilidade de fontes de água potável (CINTRA FILHO, 2008).

Além disso, cresce em todo o mundo a consciência em torno da importância do uso racional, da necessidade de controle de perdas e desperdícios e do reúso da água, incluindo a utilização de esgotos sanitários (FLORENCIO et al., 2006).

Assim, o reúso de água para diversos fins surge como alternativa para aumentar a oferta de água, garantindo economia do recurso e racionalização do uso desse bem (BERNARDI, 2003).

Segundo Mancuso e Santos (2003), reúso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, até mesmo o original, podendo ser direto ou indireto, e decorrer de ações planejadas ou não. Tornando-se uma alternativa potencial de racionalização da água, o reúso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil (BERNARDI, 2003).

Hespanhol (2002) complementa que as águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras, devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos.

As possibilidades de substituir o uso de água potável por outra água de menor qualidade incluem os usos urbanos, como descargas sanitárias e lavagem de veículos, usos industriais, agricultura, recarga de aquíferos, restauração de habitats e recreação (PINTO et al., 2006).

## 2.2 Reúso na agricultura

A água constitui o recurso natural mais importante para o desenvolvimento da agricultura no mundo, uma vez que as novas tecnologias para aumento de produtividade das áreas agrícolas são dependentes da disponibilidade de água para as culturas (AZEVEDO, 2004)

Deste modo, o déficit hídrico está relacionado também com a carência de alimentos. Em países nos quais a falta de água é um fator limitante de crescimento, percebe-se a dependência externa de produtos agrícolas, como grãos, por exemplo, que

requerem alta necessidade hídrica. Portanto, o problema de escassez de água é também um problema de escassez de alimentos (BERNARDI, 2003).

A agricultura depende do suprimento de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem que se estabeleçam critérios inovadores de gestão. Sendo que o reuso consciente e planejado de águas de baixa qualidade constitui o mais moderno e eficaz instrumento de gestão para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos (HESPANHOL, 2002).

Quando utilizadas na agricultura, as águas residuárias fornecem água e nutrientes para as culturas ao mesmo tempo em que disponibiliza a utilização da água doce de boa qualidade para o abastecimento das cidades (AZEVEDO, 2004).

De acordo com Guillermo e Cavallini (1999) a irrigação com águas residuárias está aumentando devido a alguns fatores, como a disponibilidade permanente de água, o aporte de grande quantidade de nutrientes, o aumento do rendimento dos cultivos, a melhoria da qualidade dos solos e a ampliação da fronteira agrícola.

Assim, a reutilização de águas residuárias, de uma maneira geral, e das domésticas, de forma particular, propicia o uso sustentável dos recursos hídricos, estimulando o uso racional de águas de boa qualidade. (BERNARDI, 2003)

Pinto et al. (2006) dizem que o reuso pode contribuir efetivamente para a conservação dos recursos naturais, pois, além da diminuição das retiradas de água dos mananciais superficiais e subterrâneos, uma das conseqüências diretas de toda forma de reuso é a diminuição das cargas poluidoras nos corpos d'água.

Sistemas de reuso adequadamente planejados e administrados levam à preservação de recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aquíferos provoca intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos; permite ainda a conservação do solo, através da acumulação de húmus e aumenta a resistência à erosão, além de contribuir para o aumento da produção de alimentos (HESPANHOL, 2002).

Ainda segundo Hespanhol (2002), existem os benefícios econômicos, que são auferidos graças ao aumento da área cultivada e da produtividade agrícola, já que estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em sistemas de irrigação com esgotos adequadamente administrados. Mara e Cairncross (1990) complementam que o reuso reduz a necessidade de fertilizantes artificiais,

com a conseqüente diminuição de gastos, sendo que segundo Guillermo e Cavallini (1999) muitas vezes essa redução representa 50% do custo da produção.

Neste cenário, o uso de águas residuárias em irrigação representa um abrandamento da pressão sobre o uso e a disponibilidade de água para outros fins, principalmente o consumo humano. Em muitas situações, as águas residuárias podem deixar de ser um problema para, através do reuso, serem parte da solução (PINTO et al. 2006).

### 2.3 Irrigação com efluente de tratamento de esgoto

O termo esgoto é usado para águas que, após utilização humana, apresentam as suas características naturais alteradas. Conforme o uso predominante, comercial, industrial ou doméstico, essas águas apresentarão características diferentes e são genericamente designadas de águas residuárias (NICHELE, 2009).

O esgoto doméstico é constituído de 99% de água e 1% de colóides suspensos e dissolvidos, orgânicos e inorgânicos, incluindo macronutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, e, parcialmente, micronutrientes (MOTA et al., 2006).

O esgoto doméstico proveniente dos centros urbanos é responsável por considerável contaminação dos recursos hídricos superficiais quando neles inexistem ou dispõem de sistemas de tratamento parcial dos dejetos (SILVA, 2008). A pouca atenção dada ao tratamento de águas residuárias no país tem resultado no lançamento de águas servidas não tratadas em corpos receptores, levando ao comprometimento da qualidade dos mananciais e tornando inviável o aproveitamento desses cursos d'água para o abastecimento público e mesmo para usos menos nobres (PINTO et al., 2006).

Quando submetidos a estações de tratamento de esgoto dois subprodutos são gerados: o lodo de esgoto e o efluente de estação de tratamento de esgoto, o qual geralmente é lançado em cursos d'água (SILVA, 2008) o que é considerado o modo mais fácil, porém não sustentável, de se livrar desse tipo de material, sendo que esta prática tem sido muito criticada, pois tem ocasionado sérios impactos ambientais (FONSECA, 2001).

Assim, o lançamento de esgoto, mesmo tratado, em corpos d'água pode resultar na poluição destes últimos. Além do aspecto visual desagradável, pode haver um declínio dos níveis de oxigênio dissolvido, afetando a sobrevivência dos seres de vida

aquática, exalação de gases mal cheirosos e possibilidade de contaminação de animais e seres humanos pelo consumo ou contato com essa água. (MOTA; SPERLING, 2009; NUVOLARI, 2003).

Devido aos problemas citados, a presença de nutrientes no esgoto sanitário pode constituir um problema nem sempre de fácil solução, uma vez que é necessário atender às exigências do CONAMA para lançamentos em corpos d'água (MOTA; SPERLING, 2009).

O efluente de esgoto tratado caracteriza-se por ser um material líquido, que possui algumas características peculiares diferindo-o da água convencional. As principais diferenças em relação à água consistem na presença de matéria orgânica, macro e micronutrientes, metais pesados essenciais e não essenciais às plantas, orgânicos traços e patógenos (FONSECA, 2001).

Após sua saída das estações de tratamento, pode não ter, ainda, qualidades para consumo, mas pode ter utilidade em tarefas que não necessitam de água com qualidade superior, por exemplo, a prática da irrigação, em áreas agrícolas (PIEIDADE, 2004).

Assim, apesar do efluente representar um problema ambiental, o mesmo apresenta características desejáveis agronomicamente. Tais vantagens referem-se ao seu potencial como fertilizante, pois é rico em nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio e, sobretudo, apresenta potencialidade de uso como fonte d'água às plantas (FONSECA, 2001). O efluente doméstico mostra-se como um líquido rico em matéria orgânica e nutrientes, por isso a prática do seu reúso torna-se conveniente, principalmente para ser utilizado na agricultura (PIEIDADE, 2004). Os nutrientes podem significar uma vantagem substancial para o reúso de água em irrigação, pois são insumos necessários para o cultivo de plantas (MOTA; SPERLING, 2009).

Além destas características, a competição por recursos hídricos limitados, tem favorecido procedimentos visando sua maior reutilização na agricultura. Assim, a irrigação de plantas com efluente de esgoto tratado tem sido considerado um método alternativo de tratamento de efluentes no solo (FONSECA, 2001).

Deste modo, a destinação do efluente de tratamento de esgoto para outro setor que aceite águas com qualidades inferiores é uma alternativa capaz de apoiar a elaboração de políticas públicas e ambientais, e complementar os esforços voltados à melhoria

dos recursos hídricos e ambientais. Sendo que a irrigação de culturas com o efluente vem trazendo resultados interessantes e é considerada uma boa alternativa para a destinação do resíduo (SILVA, 2008).

Além disso, a grande quantidade de águas residuárias, produzidas pelos sistemas de tratamento de esgoto, oferece um grande potencial para o uso dos esgotos tratados na irrigação, promovendo, dessa forma, uma menor utilização de água própria para outros consumos, de primeira necessidade para o homem (MONTES et al., 2006).

Assim, a utilização de esgotos sanitários oferece oportunidades de natureza econômica, ambiental e social, mas em situações de acentuada escassez de recursos hídricos pode mesmo constituir uma necessidade (FLORENCIO et al., 2006).

Porém, de um lado, o esgoto sanitário pode apresentar teores de macronutrientes suficientes para o atendimento da demanda da maioria das culturas, mas de outro, existe a necessidade de adequado manejo agrônômico. Pois nutrientes em excesso, especialmente o nitrogênio, podem comprometer a produtividade e a qualidade das culturas e resultar em problemas ambientais, principalmente a lixiviação de nitratos e a contaminação do lençol freático (BASTOS et al., 2003), uma vez que os mananciais subterrâneos e os corpos d'água superficiais são os receptores finais das águas servidas lançadas sobre o solo (PINTO et al., 2006).

## 2.4 Caracterização e importância das águas subterrâneas

O CONAMA (2008) define águas subterrâneas como as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo. Estas águas fazem parte de uma das componentes do ciclo hidrológico, uma vez que constituem parcela da água precipitada, havendo no Brasil um volume total de água subterrânea de 112.311 km<sup>3</sup> (GOMES, 2008).

A água subterrânea é um recurso natural vital para o abastecimento econômico e seguro de água potável nos meios urbano e rural, e, embora freqüentemente pouco valorizado, desempenha papel fundamental para o bem-estar tanto dos seres humanos como de muitos ecossistemas aquáticos (FOSTER et al, 2006).

É importante destacar que, entre os domicílios que possuem rede de abastecimento de água, uma parte significativa usa água subterrânea. Embora o uso do

manancial subterrâneo seja complementar ao superficial em muitas regiões, em outras áreas do país, a água subterrânea representa o principal manancial hídrico. Ela desempenha importante papel no desenvolvimento socioeconômico do país (ZOBY; OLIVEIRA, 2005).

E esta utilização de águas subterrâneas tem aumentado intensamente não só no Brasil como também no mundo todo. Essa situação deve-se à ocupação de áreas menos providas de água de superfície, ao abastecimento de água para irrigação e à busca por captação de água de melhor qualidade em regiões já poluídas (RESENDE, 2002).

Devido ao custo de extração relativamente baixo e qualidade geralmente boa, as águas subterrâneas têm freqüentemente sido a fonte preferencial de suprimento em sistemas públicos de abastecimento, sendo também para fins de irrigação, industrial e no consumo privado residencial (BOVOLATO, 2007).

## 2.5 Contaminação da água subterrânea pela irrigação com água residuária

Segundo Resende (2002), em princípio, os aquíferos subterrâneos encontram-se mais protegidos da contaminação, mas essa ocorre quando, no processo de lixiviação, a água da chuva ou de irrigação ao percolar o solo arrasta consigo substâncias dissolvidas que poderão ter como destino o lençol freático ou os aquíferos profundos.

Isto acontece porque a maior parte da água subterrânea se origina a partir do excesso de chuva que se infiltra, direta ou indiretamente, na superfície do solo. Como conseqüência, as atividades que se desenvolvem na superfície podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. A poluição dos aquíferos ocorre nos pontos em que a carga contaminante gerada no subsolo por emissões e lixiviados produzidos pela atividade humana é inadequadamente controlada e, em certos componentes, excede a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura (FOSTER et al., 2006).

Sabe-se que entre as principais fontes potenciais de contaminação do manancial subterrâneo estão as características das águas de irrigação (ANA, 2005). Neste contexto, o uso de águas residuárias representa risco ao meio ambiente, uma vez que contém uma série de produtos de origem orgânica, sólidos em suspensão, microorganismos patogênicos, macronutrientes e apresentam salinidade (DUARTE, 2006).

Sendo que o manejo inadequado da irrigação com esgotos sanitários pode resultar em sérios riscos à saúde, efeitos deletérios no solo e nas plantas e em impactos ambientais, como a lixiviação de poluentes e a contaminação das águas subterrâneas (MARQUES et al., 2003). Uma vez que a irrigação com água residuária pode causar um desequilíbrio de nutrientes, ocorrendo o acúmulo dos mesmos no perfil do solo, o que pode levar a poluição do solo e dos lençóis freáticos e superficiais (FIORI, 2007).

Em relação a estes nutrientes, sabe-se que o contaminante mais comum identificado nas águas subterrâneas é o nitrogênio dissolvido na forma de nitrato. Sua presença em concentrações indesejáveis vem ameaçando grandes aquíferos em muitas partes do mundo. Embora o nitrato seja a principal forma em que o nitrogênio ocorre na água subterrânea, o nitrogênio dissolvido também ocorre na forma de amônia, nitrito, entre outros (FREEZE; CHERRY, 1979).

Resende (2002) explica que, das diversas formas de nitrogênio presentes na natureza, a amônia e, em especial, o nitrato, podem ser causas da perda de qualidade da água, porém, a amônia tende a ser rapidamente convertida em amônio, que, por sua vez, é convertido em nitrato. Assim, o nitrato é a principal forma de nitrogênio associada à contaminação da água pelas atividades agropecuárias.

Isso ocorre pelo fato de que o ânion nitrato, caracterizado por ser fracamente retido nas cargas positivas dos colóides, tende a permanecer em solução, principalmente nas camadas superficiais do solo, nas quais a matéria orgânica acentua o caráter eletronegativo da fase sólida. Na solução do solo, o nitrato fica muito propenso ao processo de lixiviação e ao longo do tempo pode haver considerável incremento nos teores de nitrato nas águas profundas (RESENDE, 2002). Assim, a grande preocupação ambiental associada ao nitrato está no fato dele possuir grande mobilidade e persistência em condições aeróbicas (BOVOLATO, 2007).

Pinto et al. (2006) reforçam que embora alguns solos se comportem como um eficiente sistema de filtração e tratamento, elementos como o nitrato podem atingir o lençol freático, levando à sua contaminação e inviabilizando o uso das águas subterrâneas. Sendo que a percolação de elementos através do perfil do solo é um dos principais caminhos de transferências de elementos para o meio aquático (BERWANGER, 2006).

Em um curso de água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer indicações sobre o estagio da poluição eventualmente ocasionada. Se esta poluição é recente, o nitrogênio estará basicamente na forma de nitrogênio orgânico ou amônia e, se antiga, basicamente na de nitrato, desde que se tenha, no meio em questão, o suficiente de oxigênio dissolvido para permitir a nitrificação, já as concentrações de nitrito são normalmente mais reduzidas (SPERLING et al., 2009).

## 2.6 Consequências da contaminação das águas por nitrogênio

No ciclo do nitrogênio na biosfera, este nutriente se alterna entre varias formas e estados de oxidação, como resultado de diversos processos bioquímicos. No meio aquático o nitrogênio pode ser encontrado nas formas de nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, amônia livre, íon amônio, íon nitrito, íon nitrato (SPERLING et al., 2009).

O nitrogênio, nos processos de conversão da amônia em nitrito e, em seguida, do nitrito em nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido no corpo d'água (SPERLING et al., 2009).

Porém, cada uma destas formas de nitrogênio que podem estar presentes na água apresenta um risco. Assim, a seguir serão apresentadas as três formas estudadas no presente trabalho.

### 2.6.1 Amônia

Pode estar presente em água natural, em baixos teores, tanto na forma ionizada como na forma tóxica não ionizada devido ao processo de degeneração biológica de matéria orgânica animal e vegetal (CINTRA FILHO, 2008).

De acordo com as condições existentes na água, a amônia pode acumular-se ou transformar-se em nitrito ou nitrato pela ação de bactérias aeróbias. Este processo é conhecido como nitrificação. O processo inverso também é possível quando ocorre a redução dos nitratos à amônia ou até a nitrogênio via ações microbianas e sob certas condições físico-químicas, este processo é chamado de desnitrificação (CINTRA FILHO, 2008).

A amônia, quando presente na água em altas concentrações, pode ser letal aos peixes pela toxicidade que representa para esse grupo da fauna (RESENDE, 2002). Outro problema do excesso de nitrogênio na forma amoniacal em corpos hídricos refere-se ao uso para abastecimento de água, pois terão interferências diretas na tratabilidade da água. O nitrogênio amoniacal reage com o cloro utilizado para o processo de desinfecção, sendo necessárias grandes dosagens de cloro para remover todo nitrogênio amoniacal, o que pode encarecer excessivamente o tratamento da água (MALTA, 2009).

### 2.6.2 Nitrato

O nitrato é uma das formas inorgânicas do nitrogênio no solo e, juntamente, com o amônio, constitui produto final da mineralização do nitrogênio orgânico, contido em qualquer resíduo orgânico após adição ao solo (DYNIA et al., 2006).

É a principal forma de nitrogênio encontrada nas águas. Concentrações de nitratos superiores a  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  demonstram condições sanitárias inadequadas, pois a principal fonte de nitrogênio nitrato são dejetos humanos e animais. Os nitratos estimulam o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos como algas, florescem na presença destes e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a crescimento exagerado, processo denominado de eutrofização (CINTRA FILHO, 2008).

Os impactos negativos resultantes da utilização do nitrogênio no meio agrícola concentram-se na eutrofização de mananciais, sejam superficiais sejam subterrâneos, dada sua grande mobilidade na forma de nitrato (GOMES et al., 2008), a eutrofização reduz o oxigênio das águas, matando peixes e outros componentes da fauna aquática (SYLVESTRE, 2010).

No organismo, o nitrato, que é ingerido em excesso com os alimentos, pode ser reduzido para nitrito, entrando na corrente sanguínea, onde oxida o ferro da hemoglobina, produzindo a metahemoglobina. Esta forma de hemoglobina é inativa e incapaz de transportar o oxigênio para a respiração normal das células dos tecidos, causando a chamada metahemoglobinemia (GOMES et al., 2008).

### 2.6.3 Nitrito

O Nitrito é um estado intermediário do ciclo do nitrogênio, é formado durante a decomposição da matéria orgânica e prontamente oxidada a nitrato. Concentrações até  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  são inofensivas, já em concentrações entre  $0,1$  e  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  podem provocar danos a certas espécies de peixes, existe perigo elevado em caso de concentrações superiores a  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  (CINTRA FILHO, 2008)

O risco da ocorrência de nitrito na água está no fato de que ele pode combinar com aminas formando nitrosaminas, as quais são cancerígenas e mutagênicas (GOMES et al., 2008)

## 2.7 Preservação das águas subterrâneas

O impacto da agricultura irrigada com águas residuárias sobre as águas subterrâneas pode ser problema ambiental de grande magnitude. Já que quando o aquífero é contaminado, pode tornar-se imprestável para qualquer uso da água e, considerando-se que esses mananciais são as reservas de água limpa de que dispõe a humanidade, torna-se vital a sua proteção (FONSECA, 2005).

Assim, o conhecimento do processo de degradação dos corpos de água subterrâneos é de grande importância, pois são esses aquíferos que possibilitam a recarga dos mananciais de superfície (RESENDE, 2002). Além disso, o tempo de ciclagem dessas águas e possível descontaminação é de no mínimo algumas dezenas de anos, período muito longo para que seja possível ocorrer o reequilíbrio do sistema. Havendo ainda os custos de remediação de aquíferos que são muito altos e tecnicamente é muito difícil a sua recuperação para as condições originais (ZOBY; OLIVEIRA, 2005).

Deve-se ressaltar que a contaminação de aquíferos é um fenômeno muito mais preocupante do que a das águas superficiais, visto que essas se renovam e se recuperam mais rapidamente após cessar o lançamento de efluentes. No caso dos lençóis subterrâneos, a recuperação da qualidade pode ser tão demorada que o aquífero vem a ser dado como perdido (FONSECA, 2005).

Para o controle deste risco deve-se monitorar a qualidade da água do lençol freático, de forma a identificar eventuais alterações causadas pela aplicação das águas servidas na agricultura (PINTO et al., 2006).

Sendo necessário verificar a contaminação do lençol freático por nutrientes ao longo do tempo, especialmente os facilmente lixiviáveis como o nitrato (SANDRI, 2003) de forma a evitar os problemas mencionados anteriormente.

Assim, torna-se relevante o desenvolvimento de pesquisas com o uso de águas residuárias em sistemas agropecuários irrigados, visando o uso seguro, racional e sustentável, envolvendo os aspectos sociais, ambientais e econômicos (MARQUES JUNIOR et al., 2006).

## 2.8 Cultivo de alface

A alface é uma planta anual, pertencente à família Compositae, cujo nome científico é *Lactuca sativa* L. (BORREGO, 2002). Originária da região do Mediterrâneo é uma das espécies mais antigas, citada desde 4500 a.C., chegou ao Brasil trazida pelos portugueses (GOTO; TIVELLI, 1998).

É uma planta composta, presa a um pequeno caule carnoso e esverdeado, com folhas simples lisas ou crespas, de coloração verde, arroxeadas ou amarelas, é uma cultura que pode ou não formar cabeça, dependendo da variedade. As partes usadas são as folhas, muito apreciadas em saladas (FUNASA, 2007).

Possui sistema radicular muito ramificado e superficial, sendo que culturas transplantadas exploram apenas os primeiros 25 cm de solo, já em semeadura direta a raiz pivotante pode atingir até 60 cm de profundidade (FILGUEIRA, 2008).

A alface é uma planta típica de inverno, capaz inclusive de resistir a geadas leves. Seu ciclo é anual, encerrando a fase vegetativa quando a planta atinge o maior desenvolvimento das folhas. Essa, por ser uma hortaliça de ciclo curto e crescimento rápido, é muito exigente quanto às condições climáticas, à disponibilidade de água e de nutrientes para que ocorra um acelerado incremento à massa fresca (LIMA JUNIOR, 2008).

É uma das hortaliças mais exigentes em água durante o seu período de desenvolvimento, o que influencia de forma decisiva a produtividade e a qualidade comercial da cabeça (LIMA JUNIOR, 2008).

A alface tem grande importância na alimentação e na saúde humana, é a hortaliça mais popular, tanto pelo sabor e qualidade nutritiva, quanto pela facilidade de aquisição, devido ao baixo custo, e de produção, uma vez que pode ser cultivada durante o ano todo (SYLVESTRE, 2010).

Existem diferentes cultivares de alface, as quais podem ser agrupadas de acordo com as características das folhas e com o fato de formarem ou não uma cabeça. Obtêm-se, então, seis grupos diferenciados de alface: tipo repolhuda-manteiga, repolhuda-crespa ou americana, solta-lisa, solta-crespa, mimosa e romana (FILGUEIRA, 2008).

#### 2.8.1 Repolhuda-crespa

Também conhecida como alface americana, apresenta folhas crespas, bem consistentes, com nervuras destacadas e formam uma cabeça compacta, sendo muito utilizada em sanduíches. A cultivar típica é a Great Lakes, existindo inúmeras outras, como Tainá, Lucy Brown (FILGUEIRA, 2008) e Raider plus.

#### 2.8.2 Produtividade e contaminação pela irrigação com água residuária

O uso de águas residuárias na irrigação pode propiciar um grande incremento na produção agrícola, uma vez que fornece os nutrientes necessários às plantas, principalmente o nitrogênio e o fósforo (MATTOS, 2003).

Muitos estudos apontam que a irrigação com água residuária tem aumentado a produtividade das culturas. Como em pesquisa realizada por Sandri (2003), onde foi constatado que em dois ciclos da cultura da alface, a produtividade foi mais elevada para as plantas irrigadas com água residuária em relação à irrigação com água de depósito.

Apesar das vantagens, os esgotos sanitários podem conter os mais variados organismos patogênicos e em concentrações elevadas (BASTOS; BEVILACQUA, 2006). Estes patógenos humanos, como, por exemplo, ovos de helmintos, cistos de

protozoários e vírus presentes em efluentes sanitários, podem contaminar a cultura (BERTONCINI 2008).

Deste modo, a irrigação com águas residuárias apresenta uma potencialidade de risco muito grande no que se refere à contaminação por microrganismos patogênicos (MATTOS, 2003).

O método de irrigação é um dos fatores que pode contribuir para a ocorrência ou não de contaminação. Mattos (2003) diz que as características próprias de cada método, podem levar à contaminação de toda a planta, da parte aérea ou apenas do sistema radicular. Devido a isto, na irrigação com águas residuárias, a escolha do método de irrigação deve ser considerada, tendo em vista, entre outros, os riscos à saúde dos trabalhadores e consumidores e o tipo de contaminação da cultura.

Para evitar a contaminação da cultura, um dos métodos mais seguros é o gotejamento, pois, segundo Guillermo e Cavallini (1999), a irrigação localizada é reconhecidamente o método que gera menor risco de contaminação, protegendo adequadamente a saúde dos consumidores, já que, de acordo com Mattos (2003), como na irrigação localizada a água é aplicada diretamente ao sistema radicular, a contaminação de folhas e frutos dificilmente ocorre.

A escolha da cultura também exerce fundamental importância sobre a qualidade do produto obtido quando se considera a irrigação com águas residuárias. Neste caso, vários aspectos devem ser considerados, como resposta da cultura em relação aos constituintes do efluente, morfologia, manejo da cultura e forma de consumo do produto. Havendo uma tendência de se obter maiores índices de contaminação em plantas rasteiras (AZEVEDO 2004), portanto, na irrigação da cultura da alface com água residuária, deve-se monitorar a ocorrência de contaminação das plantas, evitando riscos aos consumidores.

Desta forma, grande parte dos estudos em reuso de efluentes enfocam a qualidade microbiológica dos alimentos, e não apenas os aspectos agrônômicos, para que o tratamento e aplicação destes efluentes sejam realizados com critérios, garantindo a segurança de trabalhadores rurais e consumidores (AZEVEDO, 2004).

No Brasil, existe uma legislação em vigor para alimentos que é a RDC nº 12, de 2 de Janeiro de 2001. Esta resolução estabelece para hortaliças frescas, in natura, selecionadas ou não, a ausência de *Salmonella* ssp em 25 gramas de produto.

O cumprimento da legislação vigente visa ao estabelecimento de parâmetros para que alimentos produzidos via irrigação com águas residuárias sejam obtidos de maneira segura (AZEVEDO, 2004).

Sendo que já existem pesquisas mostrando que a irrigação com águas residuárias pode não causar contaminação das culturas, como exemplo, em trabalho realizado por Bastos (2002), com irrigação de alface utilizando água residuária, a cultura não apresentou contaminação das folhas por *Salmonella* ssp.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas, pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo.

Foram conduzidos três ciclos da cultura da alface, o primeiro ciclo ocorreu no período de 16 de outubro de 2009 a 25 de novembro de 2009, o segundo no período de 15 de abril de 2010 a 24 de maio de 2010, e o terceiro ciclo no período de 01 de junho de 2010 a 10 de julho de 2010.

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, com 37,50 m de comprimento, 5,00 m de largura, 1,5 m de pé direito e 3,0 m de altura do vão central. Todos os ciclos foram conduzidos de maneira idêntica, sendo avaliado o percolado do solo a 25 e a 50 cm de profundidade, bem como o crescimento das plantas, ambas avaliações ocorreram em área irrigada com água residuária e com água de abastecimento.



Figura 1. Casa de vegetação.

### 3.1 Solo

Antes do início do experimento, o solo dos canteiros foi coletado e encaminhado para caracterização química e física no Laboratório de Fertilidade do Solo, no Departamento de Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agronômicas.

Tabela 1. Caracterização física do solo da área experimental.

AREIA TOTAL	ARGILA	SILTE	TEXTURA DO SOLO
.....g.kg <sup>-1</sup> .....			Média
386	293	321	

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental.

pH	M.O.	P	H+Al	K	Ca	Mg	V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	.....mmolc/dm <sup>3</sup> .....			.....mg/dm <sup>3</sup> .....						
5,2	18,0	99,0	35,0	0,7	30,0	6,0	51,0	0,27	8,9	50,0	15,8	6,4

Após análise foi necessário proceder a calagem do solo para elevação da saturação de bases para 80%, segundo recomendações de Trani e Raij (1997). Depois da calagem foi realizada a adubação de plantio, de acordo com a análise do solo e recomendações de Trani e Raij (1997), determinou-se a necessidade de adição de 40 Kg.ha<sup>-1</sup> de N, 200 Kg.ha<sup>-1</sup> de P, e 150 Kg.ha<sup>-1</sup> de K, os nutrientes foram incorporados ao solo nas seguintes formas: uréia, supertríplo e cloreto de potássio.

### 3.2 Cultura

Utilizou-se mudas da alface americana, do tipo Raider, as quais foram transplantadas para canteiros de 1,5 m<sup>2</sup> quando apresentaram 5 folhas definitivas (GOTO e TIVELLI, 1998), com espaçamento de 0,30 m entre plantas e linhas de cultivo. Após o transplântio, todos os canteiros foram irrigados com água de abastecimento, para facilitar o pegamento das mudas, a partir do terceiro dia iniciou-se a diferenciação dos tratamentos.

Foram utilizados 20 canteiros, ou seja, 10 para cada tratamento. As mudas foram transplantadas na densidade de 12 plantas por canteiro, totalizando 240 plantas, sendo 120 para cada tratamento.

Foi realizado o monitoramento da temperatura no interior da casa de vegetação no decorrer dos ciclos, através de termômetro de máxima e mínima. As leituras eram realizadas diariamente no início da manhã.

### 3.3 Águas de irrigação

Para a irrigação foram utilizados dois tipos de água: residuária e potável. A água residuária foi fornecida pela Sabesp e consistiu no efluente do tratamento de esgoto, da estação de tratamento de esgoto da Sabesp, localizada dentro da Faculdade de Ciências Agrônômicas. Esta estação apresenta um sistema misto de tratamento, composto por tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia, calha Parshall), tanque de equalização, reatores anaeróbios de fluxo ascendentes, tanque de aeração e decantadores.

O efluente do tratamento de esgoto era transportado até o local do experimento por caminhão pipa e acondicionado em um reservatório de 5000 litros, localizado fora da casa de vegetação. A água deste reservatório era levada por gravidade para um reservatório de 150 litros que ficava dentro da casa de vegetação.

A água potável consistiu em água tratada pela Sabesp e distribuída para o abastecimento público, esta água era proveniente do próprio sistema de abastecimento de água da Universidade e era levada por meio de mangueira até uma caixa de 150 litros que ficava dentro da casa de vegetação.

Amostras das águas de irrigação foram levadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrônômicas, para a determinação de macro e micronutrientes, pH e condutividade elétrica.

Tabela 3. Análise química das águas de irrigação.

Água	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	pH	CE
	.....mg/L.....											mS	
AP	11,0	10,0	6,0	18,0	1,0	8,0	0,19	0,00	0,05	0,05	0,00	8,08	0,09
AR	45,0	27,0	21,0	24,0	6,0	17,0	0,44	0,00	0,17	0,18	0,05	6,66	0,68

### 3.4 Sistema e manejo de irrigação

Para a irrigação utilizou-se o método de gotejamento, em que primeiramente eram irrigados os dez canteiros com água de abastecimento e posteriormente os dez canteiros com água residuária. Sendo que todos os canteiros eram irrigados com a mesma frequência e tempo.

Cada canteiro possuía 3 linhas de plantio, os gotejadores foram dispostos aos pares em cada canteiro, sendo uma linha de gotejamento entre duas linhas de cultivo. As mangueiras gotejadoras possuíam comprimento de 1,5 m e estavam distantes entre si 0,35 m, apresentando vazão nominal de 1 L.h<sup>-1</sup> com gotejadores espaçados em 30 cm.

Nos primeiros dez dias a irrigação foi realizada diariamente, uma vez que os tensiômetros não são indicados para o manejo durante os primeiros 10 dias após o transplante (Marouelli, 2008). Após este período passou-se a utilizar tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade, para o manejo da irrigação, a qual era realizada quando a tensão no solo atingia -15 kPa, até a tensão atingir -10 kPa, pois segundo Santos e Pereira (2004), em cultivo de alface a melhor eficiência do uso da água é obtida com o controle da irrigação em torno de -15 kPa, para sensores instalados a 15 cm de profundidade.

A tabela 4 traz a lâmina de irrigação que foi aplicada no decorrer dos três ciclos de cultivo de alface.

Tabela 4. Lâmina de irrigação acumulada nos três ciclos.

Ciclo	Lâmina acumulada (mm)
1º	98,8
2º	98,4
3º	119

### 3.5 Percolado

A solução do solo é a porção aquosa do solo que contém materiais dissolvidos provenientes dos processos químicos e bioquímicos do solo e provenientes da troca com a hidrosfera e biosfera (LIMA, 2009). Os íons disponibilizados à solução do solo podem ser adsorvidos pelo meio, absorvidos pelas plantas ou lixiviados para as camadas subsuperficiais do solo, causando danos ambientais, mediante a aplicação descontrolada de substâncias químicas (GONÇALVES, 2007).

Para a coleta do percolado do solo, foram utilizados extratores de solução do solo. Lima (2009) descreve os extratores de solução como equipamentos constituídos por um tubo de PVC, acoplado a uma cápsula de cerâmica porosa em sua extremidade inferior e na parte superior vedado com borracha.

Com a utilização de extratores providos de cápsulas porosas para extração da solução do solo, é possível determinar a concentração de íons e condutividade elétrica com elevada precisão (LIMA, 2009). Oliveira (2008) complementa que o monitoramento da concentração de nitrogênio pode ser feito com precisão com o uso de extratores de solução.

Os extratores de solução do solo foram instalados em oito canteiros, da seguinte forma, um extrator a 25 cm e outro a 50 cm de profundidade em 4 canteiros irrigados com água residuária, totalizando 8 extratores, sendo 4 em cada profundidade. Do mesmo modo foram instalados extratores a 25 e a 50 cm de profundidade em 4 canteiros irrigados com água potável, totalizando quatro repetições por tratamento para cada profundidade.

### 3.6 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Para a análise do percolado foram feitas quatro repetições, avaliando-se o percolado em área irrigada com água residuária e com água potável, com coletas a 25 e a 50 cm de profundidade.

Para a determinação do crescimento da alface foram realizadas dez repetições, avaliando-se a irrigação com água residuária e com água potável, constituindo-se cada parcela por 12 plantas, totalizando 120 plantas por tratamento.

### 3.7 Parâmetros avaliados no percolado

O percolado foi coletado semanalmente, totalizando 4 coletas por ciclo. A coleta era realizada por meio de extratores de solução do solo, para tanto um dia antes da coleta era aplicado um vácuo nos extratores, com uma bomba de vácuo (Dydia et al., 2006).

Para a coleta da solução utilizou-se uma seringa acoplada a um tubo de silicone flexível (Lima, 2009), as amostras foram acondicionadas em frascos plásticos e transportadas imediatamente para o Laboratório de Qualidade da Água, no Departamento de Engenharia Rural - FCA, onde primeiramente determinava-se o pH e a condutividade elétrica, depois eram determinados nitrato, nitrito e amônia, utilizando a metodologia descrita a seguir.

As determinações de nitrato, nitrito e amônia foram realizadas pelo método colorimétrico, através de leitura no espectrofotômetro da marca Hach, modelo DR/2010. Sendo utilizado para a análise de nitrato o método de redução do cádmio, para nitrito utilizou-se o método diazotization, e a amônia foi determinada pelo método Nessler.

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com utilização de peagâmetro, antes das leituras o aparelho era calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. Para a condutividade elétrica utilizou-se condutivímetro.

### 3.8 Variáveis relacionadas à cultura

Ao final dos ciclos, por ocasião da colheita, foram analisados os parâmetros de desenvolvimento da cultura. A colheita foi realizada quando a parte aérea das plantas atingiu o máximo desenvolvimento vegetativo, ou seja, quando apresentavam cabeça formada e compacta.

O procedimento de colheita consistiu em cortar a planta logo abaixo das folhas basais, bem rente ao solo. Foram colhidas três plantas centrais de cada parcela para a determinação dos parâmetros que se seguem, totalizando 30 plantas por tratamento.

Para a determinação da massa fresca total, imediatamente após a colheita, as plantas foram pesadas em balança digital, com sensibilidade de cinco gramas, o resultado foi expresso em gramas por planta.

Após obtenção da massa fresca total, retirou-se as folhas externas da planta, preservando a cabeça, caracterizando-as para a comercialização, as plantas então foram novamente pesadas, obtendo-se a massa fresca comercial.

A altura das plantas foi medida com auxílio de uma régua graduada em milímetros, a partir da base até o alto da cabeça, o resultado foi expresso em centímetros. A circunferência foi obtida com o uso de uma fita métrica, medindo a circunferência da cabeça, com resultado expresso em centímetros.

Após a determinação dos parâmetros mencionados, as folhas foram separadas, contando-se o número de folhas de cada planta. A seguir, as folhas foram lavadas e acondicionadas em sacos de papel, sendo secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante. Depois de secas, as plantas foram pesadas em balança analítica para determinação da massa seca comercial.

Após essa pesagem, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley, acondicionadas em sacos de papel e enviadas para o Laboratório de Nutrição Mineral do Departamento de Ciência do Solo, para a determinação de macro e micronutrientes da parte aérea das plantas.

Apenas no terceiro ciclo, foi realizada a análise de contaminação microbiológica das plantas. Para tanto, por ocasião da colheita, foram colhidas três plantas de

cada tratamento, as quais foram enviadas para o Laboratório de Microbiologia do Instituto de Biociências da Unesp, campus de Botucatu, onde quantificou-se a presença de *Salmonella*.

### 3.9 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas por meio de análise de variância e teste de Tukey a 5% de significância, com o uso do programa estatístico Sisvar.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Não há legislação que discorra sobre os limites para parâmetros encontrados em percolado do solo. Portanto, para que se possa ter uma base de comparação será utilizada a Resolução CONAMA nº 397, de 07 de abril de 2008, que trata sobre os padrões de lançamento de efluentes, indicando a quantidade de cada substância que pode atingir um corpo hídrico sem problemas de contaminação.

Será utilizada também a Resolução CONAMA nº 396, de 07 de abril de 2008, que dispõe sobre as águas subterrâneas, estabelecendo os limites máximos para algumas substâncias nestas águas. Porém, deve-se ressaltar que os valores desta legislação se referem à água coletada para consumo. Assim, presume-se que a concentração destas substâncias no percolado pode ser superior aos limites máximos estabelecidos pela legislação, pois, ao atingir um corpo de água irá ocorrer a diluição do percolado, reduzindo a concentração de seus constituintes.

### 4.1 Avaliação do percolado do solo

#### 4.1.1 pH

Nas tabelas 5, 6 e 7 encontram-se os valores de pH no percolado, para os três ciclos.

Tabela 5. pH no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 1º ciclo da cultura.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	5,51Ab	5,76Aa	4,674*	0,237	5,80
Água potável	5,41Aa	5,66Aa	1,364 <sup>NS</sup>	0,428	10,67
F	0,267 <sup>NS</sup>	0,250 <sup>NS</sup>			
DMS	0,402	0,441			
CV %	10,14	10,66			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 6. pH no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 2º ciclo da cultura.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	5,24Ab	5,89Aa	33,529**	0,227	5,63
Água potável	4,85Bb	5,25Ba	10,536**	0,252	6,87
F	11,455**	29,340**			
DMS	0,238	0,241			
CV %	6,49	5,96			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 7. pH no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, durante o 3º ciclo da cultura.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	4,78Aa	5,04Aa	4,144 <sup>NS</sup>	0,266	7,46
Água potável	4,54Ba	4,43Ba	1,016 <sup>NS</sup>	0,235	7,24
F	8,599**	16,656**			
DMS	0,167	0,310			
CV %	4,93	9,04			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Avaliando as tabelas, verifica-se que no 1º ciclo tanto a 25 como a 50 cm de profundidade, não houve diferença significativa no valor do pH no percolado das áreas irrigadas com água residuária e com água potável.

Já no 2º e 3º ciclos, ocorreu diferença significativa nos valores de pH, tanto a 25 como a 50 cm de profundidade, sendo que a água residuária apresentou os maiores valores para ambas profundidades.

Observa-se também, que para a água residuária o valor do pH aumentou com a profundidade nos três ciclos, apresentando diferença significativa apenas no 1º e 2º. Para a água potável, este valor também aumentou com a profundidade no 1º e 2º ciclos, com diferença significativa apenas no 2º ciclo, já no 3º ciclo o valor diminuiu com o aumento da profundidade.

Fonseca (2005), trabalhando com irrigação com efluente de tratamento de esgoto, também encontrou valores baixos para o pH, entre 20 e 40 cm de profundidade, para água limpa o pH foi de 5,65 e para água residuária foi de 5,33. Porém, ao contrário da presente pesquisa, os valores diminuíram na camada inferior, de 40 a 60 cm, sendo observado pH de 5,33 para água limpa e de 5,23 para água residuária.

Já Nichele (2009), em trabalho com efluente sanitário submetido a tratamento por UASB e por lagoa, encontrou no percolado valores mais elevados de pH, que foram de 7,5 e de 7,49.

Em estudo de Máximo (2005) sobre irrigação com água potável e com diferentes efluentes de tratamento de esgoto, assim como no presente trabalho, o pH foi menor no ciclo posterior, para todas as águas de irrigação. Apresentando, no 1º ciclo, o percolado de área irrigada com água limpa, um pH de 7,03 e no 2º ciclo, o maior pH foi de 6,85. Para as águas residuárias, no 1º ciclo o maior valor foi de 7,42 para o efluente de UASB e no 2º ciclo o pH para este efluente caiu para 6,47.

Silva (2003) em área irrigada com efluente, encontrou a 25 cm valores de pH entre 4,5 e 7,8, já a 50 cm os valores ficaram entre 2,8 e 7,1.

Florêncio et al (2006), relatam que em experimento do Prosab, em área irrigada com água tratada foi encontrado valores de pH a 25 cm entre 5,5 e 6,6, e para irrigação com efluente o pH variou de 4,9 a 7,9. Já a 50 cm, para água tratada, o pH ficou entre 5,7 e 7,1, e para efluente o pH variou de 4,9 a 7,8. Ou seja, os valores mínimos foram próximos aos valores médios do presente trabalho.

Gloaguen et al. (2009), em colunas de solo irrigadas com água destilada, encontrou valores de pH entre aproximadamente 4,0 até 6,0, para irrigação com efluente de tratamento de esgoto o pH variou de aproximadamente 4,0 até 5,5.

Pela Resolução CONAMA nº 397, para que possam ser lançados em corpos hídricos os efluentes devem apresentar pH entre 5,0 e 9,0, deste modo, para o 1º e 2º

ciclos não haveria problema caso o percolado da área com água residuária atingisse um corpo de água entre 25 e 50 cm de profundidade, pois os valores de pH estiveram entre 5,51 e 5,59. Já no 3º ciclo, o percolado poderia chegar somente a um corpo hídrico a mais de 50 cm de profundidade.

Para a água potável, no 1º ciclo não haveria problemas para corpos hídricos pouco profundos, mas já a partir do 2º ciclo, o percolado só poderia alcançar um corpo de água após os 50 cm de profundidade, e no 3º ciclo mesmo a 50 cm o valor do pH ainda está abaixo do permitido.

#### 4.1.2 Condutividade elétrica (CE)

As tabelas 8, 9 e 10 apresentam os valores de condutividade elétrica encontrados no percolado no decorrer dos três ciclos.

Tabela 8. CE no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, no decorrer do 1º ciclo, expresso em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	884,75Aa	271,38Ab	102,891**	124,074	29,59
Água potável	744,31Aa	318,88Ab	7,320*	322,654	83,67
F	1,496 <sup>NS</sup>	2,509 <sup>NS</sup>			
DMS	235,572	61,529			
CV %	39,87	28,74			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade.\*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 9. CE no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, no decorrer do 2º ciclo, expresso em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	879,50Aa	1006,88Aa	1,123 <sup>NS</sup>	246,604	36,04
Água potável	858,50Aa	1015,44Aa	1,780 <sup>NS</sup>	241,375	35,51
F	0,118 <sup>NS</sup>	0,005 <sup>NS</sup>			
DMS	125,428	244,759			
CV %	19,90	33,37			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade.\*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 10. CE no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, no decorrer do 3º ciclo, expresso em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	609,06Ab	1711,19Aa	89,726**	238,733	28,37
Água potável	305,69Bb	843,94Ba	49,316**	157,27	37,71
F	28,732**	33,528**			
DMS	116,129	307,31			
CV %	35,00	33,16			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Pelas tabelas, verifica-se que nos dois primeiros ciclos, a 25 cm de profundidade a condutividade elétrica foi maior para a água residuária e a 50 cm foi maior para a água potável, porém nenhum valor apresentou diferença significativa. Já no 3º ciclo, os valores para a água residuária foram mais elevados nas duas profundidades, apresentando diferença significativa.

No 1º ciclo, tanto para água residuária como para água de abastecimento, os valores foram maiores a 25 cm, com diferença significativa, já no 2º e 3º ciclos os valores se elevaram com a profundidade, apresentando diferença significativa apenas no 3º ciclo.

Nichele (2009), ao trabalhar com irrigação utilizando efluentes sanitários submetidos a tratamento por UASB e por lagoa, encontrou CE de 1344 e 1149  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , respectivamente, valores semelhantes aos encontrados no 2º e 3º ciclos a 50 cm para a água residuária.

Máximo (2005) encontrou, no 1º ciclo, condutividade elétrica de 207,3  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  no percolado de área irrigada com água limpa. No percolado de área com água residuária a condutividade ficou entre 116 e 230,8. No 2º ciclo, para água limpa, a condutividade foi entre 125,0 e 191,0 micro Siemens, para água residuária o valor ficou entre 170,0 e 1080,0  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Gloaguen (2009) encontrou, em colunas de solo irrigadas com água destilada, valores de condutividade elétrica de 0 a 580  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , já para irrigação com efluente a condutividade foi maior, variando de 0,5 a 1000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

## 4.1.3 Nitrato

As tabelas 11, 12 e 13 trazem as concentrações de nitrato encontradas nos três ciclos realizados.

Tabela 11. Nitrato no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, para o 1º ciclo, expresso em mg.L<sup>-1</sup>.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	37,09Aa	17,73Ab	31,717**	7,054	35,48
Água potável	45,33Aa	15,81Ab	8,992**	20,198	91,07
F	0,788 <sup>NS</sup>	1,227 <sup>NS</sup>			
DMS	19,052	3,542			
CV %	63,73	29,12			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 12. Nitrato no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, para o 2º ciclo, expresso em mg.L<sup>-1</sup>.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	47,97Bb	67,12Aa	8,480**	13,493	32,32
Água potável	57,25Aa	63,31Aa	0,829 <sup>NS</sup>	13,649	31,21
F	5,697*	0,480 <sup>NS</sup>			
DMS	7,979	11,286			
CV %	20,91	23,86			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 13. Nitrato no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, para o 3º ciclo, expresso em mg.L<sup>-1</sup>.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	33,14Ab	141,90Aa	112,725**	21,019	33,11
Água potável	20,11Bb	77,59Ba	79,284**	13,246	37,38
F	5,101*	28,520**			
DMS	11,839	24,709			
CV %	61,30	31,04			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Ao analisar as tabelas, verifica-se que no 1º ciclo, tanto a 25 como a 50 cm de profundidade, não houve diferença significativa na concentração de nitrato no

percolado das áreas irrigadas com água residuária e com água potável, sendo que a água de abastecimento apresentou maiores valores. No 2º ciclo ocorreu diferença significativa apenas a 25 cm de profundidade, com a água potável apresentando valor superior. Já no 3º ciclo a diferença foi significativa para as duas profundidades, com a água residuária apresentando valores mais elevados.

Observa-se que no 1º ciclo os valores a 50 cm foram inferiores que a 25, para as duas águas, com diferença significativa. Já no 2º e 3º ciclos, os valores de nitrato aumentaram com o aumento da profundidade para as duas águas.

Percebe-se que no último ciclo os valores de nitrato a 25 cm foram menores que no 1º ciclo, porém, a 50 cm estes valores foram bem superiores.

Azevedo e Oliveira (2005) também encontraram valores de nitrato elevados, em área irrigada com efluente de tratamento de esgoto a concentração de nitrato a 40 cm variou de 54,00 a 123,13 mg.L<sup>-1</sup>, já em área irrigada com água tratada a concentração ficou entre 23,50 e 67,67 mg.L<sup>-1</sup>.

Já em trabalho de Maximo (2005) utilizando água limpa e potável para irrigação, os valores de nitrato foram inferiores, o autor obteve no percolado de área irrigada com água limpa, no 1º ciclo, concentração de nitrato de 8,10 mg.L<sup>-1</sup>. Para área irrigada com efluente de tratamento de esgoto a concentração de nitrato ficou entre 4,40 e 14,60 mg.L<sup>-1</sup>. No 2º ciclo a concentração de nitrato para água limpa ficou entre 0,40 e 7, mg.L<sup>-1</sup>, já para água residuária ficou entre 1,50 e 27,70 mg.L<sup>-1</sup>.

Ribeiro e Gabialtti (2004) ao trabalharem com irrigação de alface com água residuária e potável, obtiveram um valor de 23 mg.L<sup>-1</sup> de nitrato em percolado de área irrigada com água potável e 24,4 mg.L<sup>-1</sup> em área irrigada com água residuária. Sendo que do 1º para o último ciclo os valores de nitrato também aumentaram. Porém, ao coletar em três profundidades diferentes, observaram que a 30 cm os valores foram maiores que a 15 cm, enquanto que a 60 cm os valores foram menores que a 30 cm de profundidade.

Florêncio et al. (2006) descreveram que em pesquisa do Prosab, em área irrigada com água tratada a concentração de nitrato a 25 cm variou de 10,1 a 32,2 mg.L<sup>-1</sup> e para efluente ficou entre 1,4 e 59,4 mg.L<sup>-1</sup>. Já a 50 cm de profundidade a concentração para água tratada variou de 3,9 a 21,2 mg.L<sup>-1</sup>, e para irrigação com efluente ficou entre 0,00 e 30,6 mg.L<sup>-1</sup>.

Em trabalho com lixiviação em colunas de solo, Gloaguen (2009) encontrou para irrigação com água destilada concentrações de nitrato de 5 a aproximadamente 28 mg.L<sup>-1</sup>, já para irrigação com efluente de tratamento de esgoto a concentração variou de 6 a até 60 mg.L<sup>-1</sup>.

Mota e Von Sperling (2009) relatam que em experimento do Prosab 5, em um tratamento irrigado com efluente de tratamento de esgoto, o percolado a 30 cm apresentou uma concentração de nitrato de 20,80 mg.L<sup>-1</sup>, valor superior ao permitido para consumo. Porém, ao coletar amostra de água de poço, encontrou-se uma concentração de 1,00 mg.L<sup>-1</sup> de nitrato, valor este muito inferior do que a 30 cm de profundidade e bem abaixo do máximo permitido para consumo. Os autores concluíram então, que após um ano de irrigação a franja de percolação pode não ter atingido o lençol, ou o efeito destas concentrações não foram suficientes para alterar a qualidade da água.

Gloaguen (2006), trabalhando com irrigação com água residuária e água potável, observou que até 100 cm de profundidade as concentrações de nitrato foram superiores no percolado de área irrigada com água residuária, porém, com valores muito próximos aos da água limpa. Já à profundidade maior que 100 cm a concentração de nitrato foi maior no percolado da área irrigada com água limpa, com valor de 23,7 e para água residuária o valor foi de 11,1 mg.L<sup>-1</sup>. Ao perfurar poços para análise da água do lençol freático, as médias de nitrato em 5 poços variaram de 4,7 a 17,4 mg/L mg.L<sup>-1</sup>.

Pela Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008, para consumo humano e recreação o máximo permitido para nitrato é de 10 mg.L<sup>-1</sup> e para dessedentação animal é de 90 mg.L<sup>-1</sup>.

No 1º e 2º ciclos os valores de nitrato no percolado de área irrigada com água residuária estiveram acima do limite para consumo humano e abaixo do máximo para dessedentação animal, já no 3º ciclo apenas a 25 cm este valor esteve inferior para dessedentação, pois a 50 cm o valor foi de aproximadamente 40 mg.L<sup>-1</sup> a mais. Porém deve-se salientar que os valores apresentados para água subterrânea se referem à água para consumo, mas o percolado ao atingir um corpo hídrico irá diluir e as substâncias nele presentes terão suas concentrações reduzidas. Deste modo, mesmo com a concentração um pouco elevada no percolado no último ciclo, talvez o nitrato não seja uma grande preocupação para as águas

subterrâneas que serão utilizadas para dessedentação, no caso de irrigação com água residuária.

Porém, para abastecimento humano, a concentração de nitrato apresenta uma preocupação, mas não apenas para a irrigação com água residuária, já que em todos os ciclos e profundidades de coleta, o percolado de área irrigada com água limpa e com água residuária apresentaram concentrações muito próximas de nitrato, indicando que não houve diferença no risco de contaminação por irrigação com água limpa ou residuária. A única exceção ocorreu no 3º ciclo a 50 cm de profundidade, onde os valores para a água residuária foram bem superiores que os da água limpa.

Deve-se recordar que a alface apresenta raízes superficiais, não podendo explorar grande extensão do solo (MURAYAMA, 2002), isto pode explicar os teores mais elevados de nitrato a 50 cm de profundidade, no 2º e 3º ciclos.

Além disso, os maiores valores de nitrato no percolado de área irrigada com água residuária no 3º ciclo podem ser explicados pela maior lâmina de água que foi aplicada neste ciclo, fornecendo uma quantidade de nutrientes muito acima da exigida pela cultura, o que fez com que o excesso fosse lixiviado. Devido a isto, para a utilização de água residuária na irrigação, deve-se realizar o manejo não somente do volume de água a ser aplicado, mas também da quantidade de nutrientes a ser fornecido juntamente com a água de irrigação.

Ressalta-se que um fator que contribui para a ocorrência de altas concentrações de nitrato no percolado do solo está no fato de que a cultura da alface absorve quantidades relativamente pequenas de nutrientes quando comparadas com outras culturas (KATAYAMA, 1993), o que favorece a lixiviação de nitrogênio. Assim, a escolha de uma cultura que absorva maiores teores de nitrogênio pode reduzir o risco de contaminação das águas subterrâneas por nitrato, quando é realizada a irrigação com efluente do tratamento de esgoto.

Nas figuras 2 e 3 estão apresentadas as variações nas concentrações de nitrato nas 4 coletas do percolado do solo irrigado com água residuária e água de abastecimento, nos três ciclos.

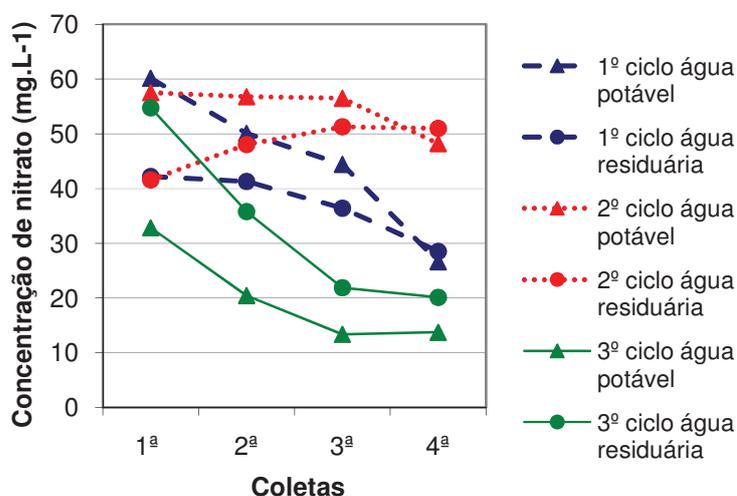


Figura 2. Variação na concentração de nitrato no percolado a 25 cm, nos três ciclos, para irrigação com água limpa (AL) e água residuária (AR), em mg.L<sup>-1</sup>.

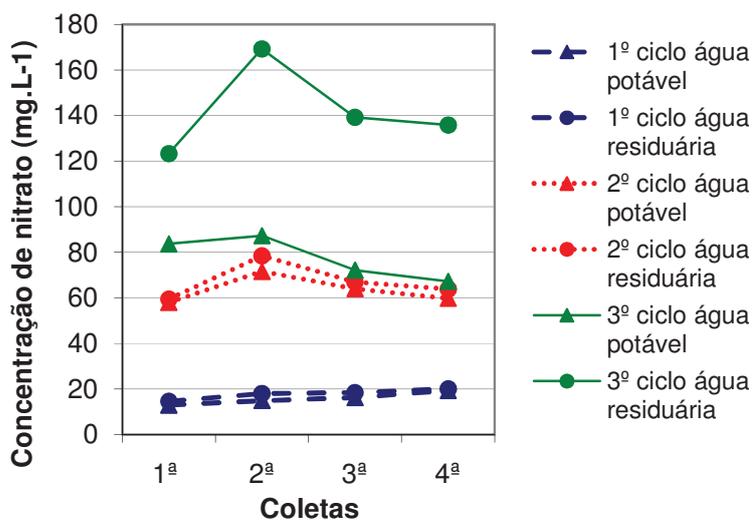


Figura 3. Variação na concentração de nitrato no percolado a 50 cm, nos três ciclos, para irrigação com água limpa (AL) e água residuária (AR), em mg.L<sup>-1</sup>.

Observando as figuras percebe-se que, apesar de o nitrato ter apresentado um valor mais elevado no 3º ciclo, da 1ª para a 2ª coleta o valor de nitrato aumentou, porém, a partir da 3ª coleta o valor começou a diminuir novamente, sendo que foi menor na última coleta do que na 2ª e 3ª. Isto ocorre, pois a alfaca é exigente em nutrientes

principalmente na fase final do ciclo, sendo que cerca de 80% do total de nitrogênio extraído é absorvido nas últimas semanas do ciclo (KATAYAMA, 1993), assim, por ocorrer uma maior absorção de nitrogênio pela planta, a concentração de nitrato no lixiviado diminuiu nas últimas coletas.

#### 4.1.4 Nitrito

Nas tabelas 14, 15 e 16 estão apresentadas as concentrações de nitrito no percolado do solo, nos 3 ciclos.

Tabela 14. Nitrito no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, no 1º ciclo, expresso em mg.L<sup>-1</sup>.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	0,0301Aa	0,0059Bb	6,962*	0,019	143,79
Água potável	0,0099Ba	0,0167Aa	3,391 <sup>NS</sup>	0,008	77,88
F	5,062*	7,534*			
DMS	0,018	0,008			
CV %	126,70	97,92			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade.\*\* - significativo a 1% de probabilidade.<sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 15. Nitrito no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, no 2º ciclo, expresso em mg.L<sup>-1</sup>.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	0,0083Aa	0,0096Aa	0,307 <sup>NS</sup>	0,005	71,38
Água potável	0,0228Aa	0,0569Aa	0,425 <sup>NS</sup>	0,107	370,97
F	2,524 <sup>NS</sup>	0,866 <sup>NS</sup>			
DMS	0,019	0,104			
CV %	165,88	432,84			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade.\*\* - significativo a 1% de probabilidade.<sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 16. Nitrito no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, no 3º ciclo, expresso em mg.L<sup>-1</sup>.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	0,0167Aa	0,0119Aa	2,534 <sup>NS</sup>	0,006	58,96
Água potável	0,0156Aa	0,0117Aa	1,480 <sup>NS</sup>	0,007	67,04
F	0,085 <sup>NS</sup>	0,011 <sup>NS</sup>			
DMS	0,007	0,005			
CV %	63,73	58,20			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Analisando as tabelas, percebe-se que no 1º ciclo, a 25 cm de profundidade houve diferença significativa na concentração de nitrito, sendo que na área irrigada com água residuária o valor foi superior. Para 50 cm de profundidade, também houve diferença significativa, porém, o valor de nitrito foi superior na área irrigada com água potável.

Já no 2º e 3º ciclos não ocorreu diferença significativa, sendo que no 2º os valores para água potável foram bem superiores nas duas profundidades. No 3º ciclo os valores foram superiores para a água residuária, porém, apresentando valores bem próximos aos da água potável.

No 1º ciclo, para a água residuária, o valor de nitrito diminuiu com o aumento da profundidade com diferença significativa, já para a água potável, o valor de nitrito aumentou com a maior profundidade.

No 2º ciclo o valor para os dois tipos de água aumentou a 50 cm, já no 3º ciclo o valor de ambas diminuiu com o aumento da profundidade, sem diferença significativa nos dois ciclos.

Em pesquisa sobre irrigação com água limpa e residuária, no 1º ciclo, Máximo (2005) observou em área irrigada com água limpa, o valor de 2,0 mg.L<sup>-1</sup> de nitrito no percolado. Para área irrigada com efluente de tratamento de esgoto, o nitrato ficou entre 1,0 mg.L<sup>-1</sup> e 2,0 mg.L<sup>-1</sup>. Estes valores são bem superiores aos encontrados no presente trabalho. Já no 2º ciclo realizado por Máximo (2005), o nitrito para água limpa variou de 0,00 a 2,0 mg.L<sup>-1</sup>, e para água residuária, ficou entre 0,00 e 8,0 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, as maiores concentrações encontradas pelo referido autor, estiveram muito acima das maiores concentrações detectadas no presente estudo.

Silva (2003) em irrigação com efluente, encontrou a 25 cm concentração de nitrito entre 0,006 a 0,102 mg.L<sup>-1</sup>, já a 50 cm as concentrações variaram de 0,007 a 0,350 mg.L<sup>-1</sup>. Estes valores também foram baixos, porém, as maiores concentrações estiveram bem acima das encontradas no presente trabalho.

Samanhoto (2008) encontrou, em percolado de área irrigada com água limpa, concentrações de nitrito entre 0,16 e 0,21 mg.L<sup>-1</sup>, estes valores foram próximos aos detectados na área com aplicação de água residuária da suinocultura, que variaram de 0,14 a 0,23 mg.L<sup>-1</sup> de nitrito, porém, foram bem superiores aos observados na presente pesquisa.

A Resolução CONAMA nº 396 estabelece para consumo humano, irrigação e recreação um valor máximo de nitrito de 1 mg.L<sup>-1</sup>, já para dessedentação animal é de 10 mg.L<sup>-1</sup>.

Assim, o percolado das áreas irrigadas com água residuária não apresentou riscos às águas subterrâneas quanto ao nitrito, pois todos os valores em ambas as profundidades foram muito inferiores ao máximo permitido para todos os usos mencionados. Lembrando-se que as substâncias presentes no percolado terão suas concentrações reduzidas ao encontrarem um corpo hídrico, devido à diluição das mesmas, o que reforça que o nitrito não é uma preocupação na irrigação com águas residuárias.

#### 4.1.5 Amônia

As tabelas 17, 18 e 19 trazem as concentrações de amônia no percolado, no decorrer dos três ciclos.

Tabela 17. Amônia no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, no 1º ciclo.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	0,527Aa	0,279Ab	7,328*	0,188	64,36
Água potável	0,310Ba	0,413Aa	0,719 <sup>NS</sup>	0,249	95,15
F	5,029*	1,304 <sup>NS</sup>			
DMS	0,198	0,241			
CV %	65,37	96,23			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 18. Amônia no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, no 2º ciclo.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	0,323Ba	0,291Aa	0,334 <sup>NS</sup>	0,111	49,83
Água potável	1,832Aa	0,351Ab	5,392*	1,309	165,34
F	5,967*	0,420 <sup>NS</sup>			
DMS	1,268	0,188			
CV %	162,25	80,71			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade.\*\* - significativo a 1% de probabilidade.<sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 19. Amônia no percolado, em função de diferentes profundidades e águas de irrigação, no 3º ciclo.

	25 cm	50cm	F	DMS	CV%
Água residuária	0,215Ab	0,814Aa	11,160**	0,368	98,55
Água potável	0,299Aa	0,191Ba	3,149 <sup>NS</sup>	0,125	70,26
F	1,780 <sup>NS</sup>	10,485**			
DMS	0,129	0,394			
CV %	69,56	108,21			

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade.\*\* - significativo a 1% de probabilidade.<sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Pelas tabelas, verifica-se que no 1º ciclo houve diferença significativa a 25 cm, com valor superior para a água residuária, já a 50 cm não houve diferença significativa, apesar do valor de amônia na água potável ser maior que na água residuária.

No 2º ciclo também houve diferença significativa a 25 cm, mas valor superior para a água potável, que também teve valor maior que a água residuária a 50 cm. Já no 3º ciclo não houve diferença significativa a 25 cm, porém a 50 cm o maior valor para a água residuária foi significativo.

Sendo que no 1º ciclo, para a água residuária a concentração de amônia diminuiu com o aumento da profundidade, enquanto para a água potável a concentração de amônia aumentou. No 2º ciclo o valor diminuiu para as duas águas. Já no 3º o valor reduziu para a água potável, mas aumentou para a água residuária.

As concentrações encontradas de amônia foram baixas, porém, em trabalho realizado por Máximo (2005) os valores de amônia no percolado foram ainda menores. O autor obteve no percolado de área irrigada com água limpa, no 1º ciclo, a concentração de amônia de 0,08 mg.L<sup>-1</sup> e no 2º ciclo, variou entre 0,00 e 0,01 mg.L<sup>-1</sup>. Já para

água residuária, no 1º ciclo, a concentração de amônia ficou entre de 0,01 e 0,24 mg.L<sup>-1</sup>, e no 2º ficou entre 0,00 e 0,01 mg.L<sup>-1</sup>.

Já Azevedo e Oliveira (2005) encontraram valores de amônia mais elevados, em área irrigada com água de abastecimento a concentração de amônia a 40 cm variou de 0,00 a 5,27 mg.L<sup>-1</sup>, e para irrigação com efluente de tratamento de esgoto ficou entre 0,13 e 4,83 mg.L<sup>-1</sup>, valores superiores aos encontrados no presente trabalho.

Silva (2003) observou em área irrigada com efluente, a 25 cm, concentração de amônia entre 0,005 e 2,150 mg.L<sup>-1</sup>, e a 50 cm os valores variaram de 0,007 a 0,360 mg.L<sup>-1</sup>.

Segundo a Resolução CONAMA nº 397, para que um efluente possa atingir um corpo hídrico, é necessário que possua uma concentração de nitrogênio amoniacal inferior a 20 mg.L<sup>-1</sup>. Assim, no presente trabalho, a irrigação com água residuária não apresentou risco de contaminação das águas subterrâneas por amônia, pois em todos os ciclos, os valores de amônia no percolado coletado a 25 e a 50 cm de profundidade se apresentaram muito abaixo do valor máximo permitido.

#### 4.2 Avaliação do cultivo da alface

A seguir encontram-se os parâmetros de crescimento da cultura, que foram analisados ao final de cada ciclo.

##### 4.2.1 Massa fresca total

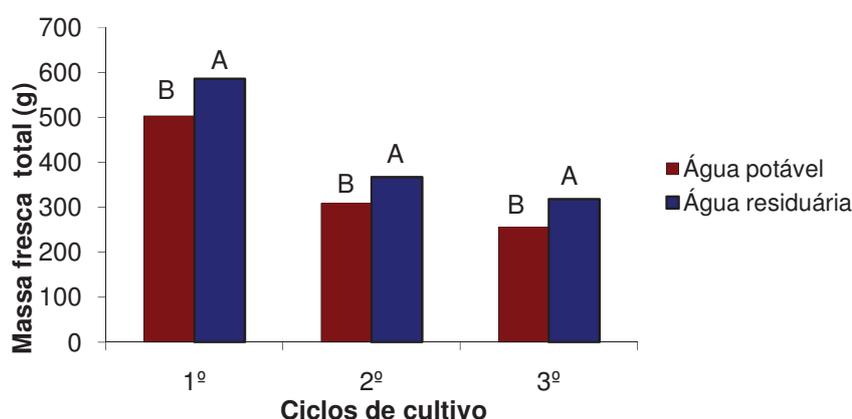


Figura 4. Massa fresca total, em gramas, para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação.

Observa-se que nos três ciclos as plantas irrigadas com água residuária apresentaram massa fresca total superior às plantas irrigadas com água potável, ocorrendo diferença significativa a 1% de probabilidade em todos os ciclos.

Azevedo (2004) também obteve maior massa fresca para alface irrigada com efluente de tratamento de esgoto, que foi de 486,72 g, já para irrigação com água potável a massa fresca foi de 217,97 g.

Do mesmo modo, Sandri (2003) encontrou no 1º ciclo, para alface irrigada com água limpa, massa fresca total de 149,0 g e para água residuária foi de 210,0 g. Já no 2º ciclo, para água limpa, a massa foi de 190,0 e água residuária de 260,0 g.

Ao contrário, Baumgartner et al. (2007) obtiveram massa fresca superior para irrigação com água limpa, que foi de 415,6 g, enquanto para alface irrigada com águas residuárias a massa fresca ficou entre 379,1 a 410,8 g.

#### 4.2.2 Massa fresca comercial

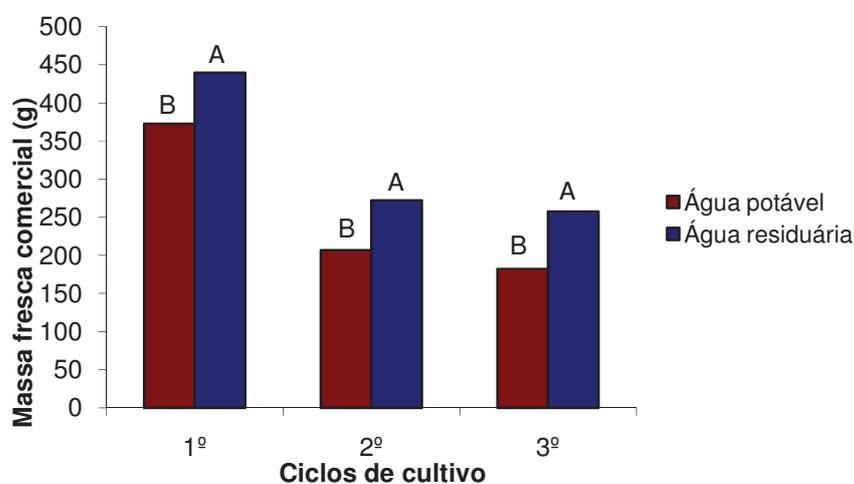


Figura 5. Massa fresca comercial, em gramas para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação.

As plantas irrigadas com água residuária apresentaram maior massa fresca comercial em relação às plantas irrigadas com água de abastecimento, com diferença significativa a 1% de probabilidade, nos três ciclos.

### 4.2.3 Altura

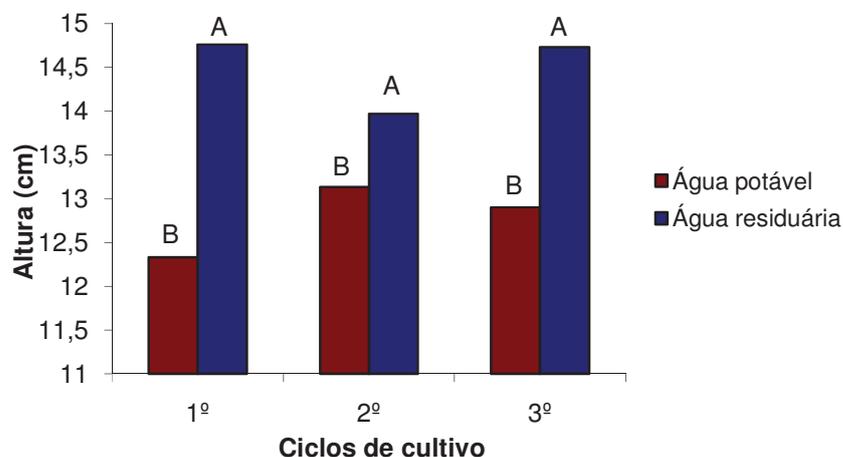


Figura 6. Altura, em cm, para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação.

A água residuária levou à produção de plantas com maior altura em relação às irrigadas com água potável, apresentando diferença significativa a 1% de probabilidade, em todos os ciclos estudados.

Tavares et al. (2005) em estudo sobre os efeitos da irrigação sobre os componentes de produção da alface, em dois ciclos, também constatou que a irrigação com água residuária produziu alfaces com maior altura em relação às irrigadas com água de abastecimento. O autor verificou alturas de 24,0 e 20,57 cm para água residuária e de abastecimento, respectivamente, no 1º ciclo. No 2º ciclo as alturas foram de 16,44 cm para água residuária e 15,43 cm para água de abastecimento, alturas estas superiores às encontradas no presente trabalho.

Sandri (2003) também obteve maior altura para irrigação com água residuária no 1º ciclo, sendo 19,5 cm para irrigação com água limpa e 21,5 cm para água residuária. Já no 2º ciclo não houve diferença, com a mesma altura de 21,0 cm para água limpa e residuária.

Baumgartner et al. (2007) obtiveram altura de 23,2 cm para alface irrigada com água limpa e entre 22,8 e 23,6 cm para irrigação com água residuária, não ocorrendo diferença significativa.

#### 4.2.4 Circunferência

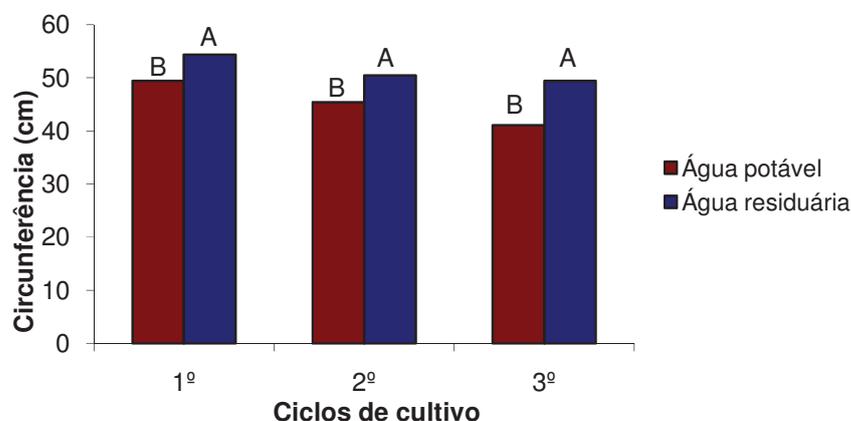


Figura 7. Circunferência, em cm, para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação.

A circunferência das plantas irrigadas com água residuária apresentou valores superiores em relação às plantas irrigadas com água limpa, com diferença significativa a 1% de probabilidade nos três ciclos.

Tavares et al. (2005) também encontrou maiores circunferências para alface irrigada com água residuária, com valores de 29,54 cm para água de abastecimento e 33,13 cm para água residuária, no 1º ciclo. No 2º ciclo, os valores foram de 24,22 cm para água de abastecimento e 25,52 cm para água residuária. Assim como no presente trabalho, a circunferência foi maior no 1º ciclo.

## 4.2.5 Número de folhas

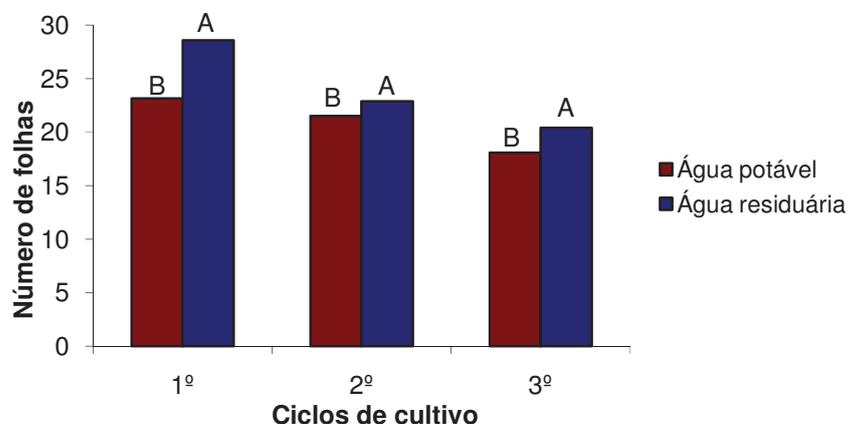


Figura 8. Número de folhas para a cultura da alfaca submetida a diferentes águas de irrigação.

As plantas irrigadas com água residuária apresentaram mais folhas do que as irrigadas com água potável, com diferença significativa a 1% de probabilidade, em todos os ciclos.

Do mesmo modo, Tavares et al. (2005) observaram para alfaca irrigada com água residuária maior número de folhas que para irrigação com água de abastecimento, foram encontrados valores de 23,25 e 25,38 para água de abastecimento e água residuária, respectivamente, no 1º ciclo, e 20,75 para água de abastecimento e 21,88 para água residuária, no 2º ciclo.

Baumgartner et al. (2007) também encontraram diferença significativa para os tratamentos no número de folhas, que foi de 19,0 para alfaca irrigada com água limpa e de 21,6 para irrigação com água residuária.

## 4.2.6 Massa seca comercial

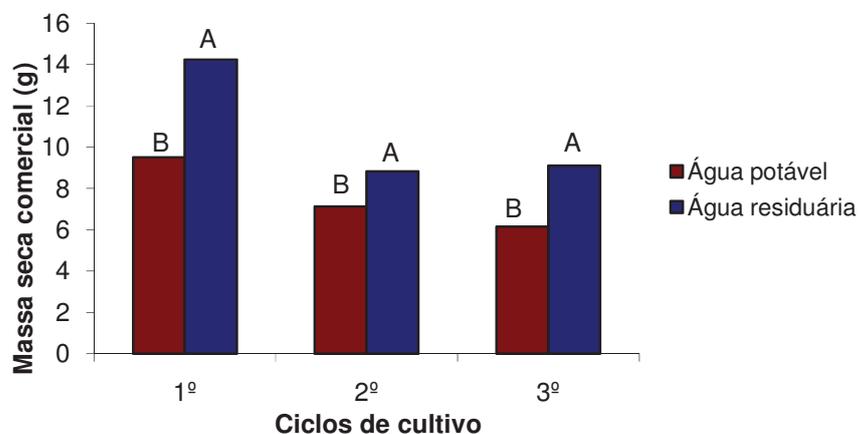


Figura 9. Massa seca comercial, em gramas, para a cultura da alface submetida a diferentes águas de irrigação.

Quanto à massa seca comercial, os valores para as plantas irrigadas com água residuária foram superiores, com diferença significativa a 1% de probabilidade nos três ciclos, em relação à irrigação com água de abastecimento.

Sandri (2003) também encontrou massa seca superior para alface irrigada com água residuária. No 1º ciclo, para irrigação com água limpa, a massa foi de 8,0 g e para água residuária foi de 10,0 g. No 2º ciclo, para água limpa, a massa seca foi de 9,0 g e para água residuária foi de 13,3 g.

## 4.3 Análise foliar de macronutrientes

As tabelas 20, 21 e 22 apresentam os valores de macronutrientes encontrados na análise foliar das plantas.

Tabela 20. Macronutrientes, em função de diferentes águas de irrigação, na folha da alface, no 1º ciclo, expresso em  $\text{g.kg}^{-1}$ .

Água	N	P	K	Ca	Mg	S
Residuária	28,0a	5,00a	30,00b	8,00a	2,20a	1,83b
Limpa	29,0a	5,77a	41,67a	9,33 <sup>a</sup>	2,60a	2,30a
F	3,00 <sup>NS</sup>	3,076 <sup>NS</sup>	64,474 <sup>*</sup>	4,00 <sup>NS</sup>	4,00 <sup>NS</sup>	49,00 <sup>*</sup>
DMS	2,484	1,881	6,252	2,868	0,861	0,287
CV %	2,48	9,95	4,97	9,42	10,21	3,95

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 21. Macronutrientes, em função de diferentes águas de irrigação, na folha da alface, no 2º ciclo, expresso em g.kg<sup>-1</sup>.

Água	N	P	K	Ca	Mg	S
Residuária	30,33a	4,40a	45,33a	10,33a	2,87a	1,80 <sup>a</sup>
Limpa	31,00a	4,37a	48,67a	10,00a	2,63a	1,87 <sup>a</sup>
F	0,571 <sup>NS</sup>	0,053 <sup>NS</sup>	2,041 <sup>NS</sup>	0,250 <sup>NS</sup>	1,750 <sup>NS</sup>	1,00 <sup>NS</sup>
DMS	3,795	0,625	10,039	2,868	0,759	0,287
CV %	3,52	4,06	6,08	8,03	7,86	4,45

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 22. Macronutrientes, em função de diferentes águas de irrigação, na folha da alface, no 3º ciclo, expresso em g.kg<sup>-1</sup>.

Água	N	P	K	Ca	Mg	S
Residuária	31,33a	3,93a	40,33a	8,33a	2,43a	2,13 <sup>a</sup>
Limpa	31,67a	4,03a	40,00a	8,33a	2,40a	2,17 <sup>a</sup>
F	0,015 <sup>NS</sup>	0,231 <sup>NS</sup>	0,077 <sup>NS</sup>	0,000 <sup>NS</sup>	0,053 <sup>NS</sup>	0,077 <sup>NS</sup>
DMS	11,739	0,896	5,171	2,484	0,625	0,517
CV %	10,61	6,40	3,66	8,49	7,36	6,85

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Observa-se que no 1º ciclo a água de abastecimento apresentou maiores valores para todos os nutrientes, mas com diferença significativa apenas para K. Já no 2º e 3º ciclos não ocorreu diferença significativa para nenhum nutriente.

Apenas no 1º ciclo o teor de nitrogênio ficou um pouco abaixo do recomendado, nos ciclos seguintes, para as duas águas de irrigação, o teor ficou dentro do intervalo considerado adequado por Trani e Raij (1997), próximo ao limite mínimo, que é de 30 a 50g.kg<sup>-1</sup>.

O fósforo também se encontrou dentro do intervalo recomendado, de 4,0 a 7,0 g.kg<sup>-1</sup> (TRANI; RAIJ, 1997), apenas para a água residuária, no 3º ciclo, o valor ficou um pouco abaixo do mínimo. Baumgartner et al. (2007) também encontraram para água residuária um teor inferior, que foi de 2,1 g.kg<sup>-1</sup>.

Já potássio, cálcio e magnésio, em todos os ciclos e para as duas águas de irrigação, estiveram abaixo do teor adequado, que é de, respectivamente 50 a 80 g.kg<sup>-1</sup>, 15 a 25 g.kg<sup>-1</sup> e 4 a 6 g.kg<sup>-1</sup> (TRANI; RAIJ, 1997). Sandri (2003), em irrigação com água residuária e de abastecimento também encontrou teores de magnésio e cálcio menores que o adequado, para as duas águas. Baumgartner et al. (2007) também encontraram valores de cálcio e magnésio abaixo da recomendação.

O teor de enxofre, em todos os ciclos e para ambas águas de irrigação, esteve dentro do limite adequado, que é de 1,5 a 2,5 g.kg<sup>-1</sup> (TRANI; RAIJ, 1997).

#### 4.4 Análise foliar de micronutrientes

As tabelas 23, 24, e 25 apresentam os valores de micronutrientes encontrados na análise foliar das plantas.

Tabela 23. Micronutrientes, em função de diferentes águas de irrigação, na folha da alface, no 1º ciclo, expresso em expresso em mg.kg<sup>-1</sup>.

Água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Residuária	74,67a	12,67b	1923,33a	55,00b	80,33a
Limpa	70,67a	14,33a	2250,67a	70,00a	73,00a
F	1,714 <sup>NS</sup>	25,00*	12,956 <sup>NS</sup>	24,107*	6,127 <sup>NS</sup>
DMS	13,145	1,434	391,284	13,145	2,095
CV %	5,15	3,02	5,34	5,99	4,73

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 24. Micronutrientes, em função de diferentes águas de irrigação, na folha da alface, no 2º ciclo, expresso em expresso em mg.kg<sup>-1</sup>.

Água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Residuária	54,67a	12,33a	1875,00a	82,33a	58,00a
Limpa	60,67a	12,33a	1916,67a	78,33a	47,67b
F	3,857 <sup>NS</sup>	0,000 <sup>NS</sup>	0,06 <sup>NS</sup>	0,231 <sup>NS</sup>	31,00*
DMS	13,145	2,484	2270,663	35,827	7,985
CV %	6,49	5,73	34,10	12,69	4,30

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 25. Micronutrientes, em função de diferentes águas de irrigação, na folha da alface, no 3º ciclo, expresso em expresso em  $\text{mg.kg}^{-1}$ .

Água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Residuária	96,67a	16,00a	3836,00a	97,00a	154,33a
Limpa	81,67a	14,33a	3535,33a	111,00a	356,33a
F	0,403 <sup>NS</sup>	0,080 <sup>NS</sup>	0,025 <sup>NS</sup>	0,117 <sup>NS</sup>	4,381 <sup>NS</sup>
DMS	101,728	25,374	8221,146	175,848	415,252
CV %	32,47	47,62	63,49	48,13	46,29

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \* - significativo a 5% de probabilidade. \*\* - significativo a 1% de probabilidade. <sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade.

Pelas tabelas, observa-se que no 1º ciclo a água residuária apresentou maiores valores de Mn e Zn, mas sem diferença significativa. Para os outros nutrientes, a água de abastecimento apresentou maiores valores, mas com diferença significativa apenas para Cu e Mn.

No 2º ciclo, houve diferença significativa apenas para o zinco, com maior valor para a água residuária, observando que o Cu, que apresentou diferença significativa no 1º ciclo, no 2º apresentou o mesmo valor para as duas águas. Já no 3º ciclo não ocorreu diferença significativa para nenhum nutriente.

O ferro apresentou, em todos os ciclos, valores muito superiores ao máximo recomendado por Trani e Raij (1997), que é entre 50 e 150  $\text{mg.kg}^{-1}$ . Baumgartner et al. (2005) também encontraram teores de ferro muito superiores, que foram de 6303  $\text{mg.kg}^{-1}$  para água limpa e 7425  $\text{mg.kg}^{-1}$  para água residuária, valores estes bem acima dos encontrados no presente trabalho.

Os teores de cobre e manganês, em todos os ciclos e para ambas águas de irrigação, estiveram dentro do limite adequado, que é de, respectivamente, 7 a 20  $\text{mg.kg}^{-1}$  e 30 a 150  $\text{mg.kg}^{-1}$  (TRANI; RAIJ, 1997). Enquanto o zinco apresentou, apenas no 1º e 2º ciclos, teores dentro do recomendado, que é de 30 a 100  $\text{mg.kg}^{-1}$ , ocorrendo, no 3º ciclo, valores mais elevados que o limite máximo.

O boro só apresentou no 2º ciclo valores dentro do intervalo recomendado por Trani e Raij (1997), entre 30 a 60  $\text{mg.kg}^{-1}$ , ocorrendo no 1º e no 3º ciclos teores mais elevados que o máximo recomendado. Baumgartner et al. (2007) também encontraram valores mais elevados para boro, mas apenas para as alfaces irrigadas com águas residuárias, apresentando boro foliar entre 75,27 e 100,75  $\text{mg.kg}^{-1}$ .

Apesar de alguns teores de nutrientes não se apresentarem dentro dos limites considerados adequados por Trani e Raij (1997), percebe-se que nos três ciclos todos os valores de macro e micronutrientes, se apresentaram muito próximos, sendo que no 3º ciclo não houve diferença significativa para nenhum nutriente, o que mostra que as águas de irrigação não tiveram influência quanto à quantidade de nutrientes foliares.

Sandri (2003), trabalhando com irrigação de alface com água residuária e com água de abastecimento, também concluíram que a concentração dos elementos químicos na parte aérea da alface não foi afetada pelas águas de irrigação.

O que também foi observado por Baumgartner et al. (2005), que concluíram que não houve diferença entre os tratamentos com água limpa e residuária nas concentrações foliares de nutrientes.

Baumgartner et al. (2007) reforça dizendo que seu estudo demonstrou o indicativo de que a aplicação de águas residuárias não interfere na absorção de alguns nutrientes.

#### 4.5 Análise de contaminação microbiológica da cultura

A análise de contaminação foi realizada apenas no 3º ciclo, com a determinação da presença de *Salmonella*, pois a Resolução ANVISA RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, que dispõe sobre os padrões microbiológicos para alimentos, determina que para hortaliças consumidas in natura faz-se necessária somente a análise de *Salmonella*, não sendo permitida a presença da mesma.

Na análise de contaminação por *Salmonella* não foi detectada a presença da mesma em nenhuma das amostras de alface, tanto para as plantas irrigadas com água residuária como com água potável.

De acordo com o exigido por legislação, a alface irrigada com água residuária não apresentou problemas de contaminação, pois está dentro do padrão exigido, que é a ausência de *Salmonella* em 25 gramas.

A ausência de *Salmonella* em amostras de alface irrigadas com água residuária também foi observada por Mattos (2003), Bastos (2002) e Azevedo (2004).

## 5 CONCLUSÕES

- A irrigação com efluente de tratamento de esgoto não apresentou risco de contaminação das águas subterrâneas por amônia e nitrito.

- O risco de contaminação das águas subterrâneas por nitrato foi semelhante para irrigação com água de abastecimento e com efluente de tratamento de esgoto, com exceção do 3º ciclo, em que o nitrato apresentou maior potencial de contaminação das águas subterrâneas pela irrigação com água residuária.

- A prática de irrigação com efluente de tratamento de esgoto proporcionou plantas de alface com maior massa fresca total, comercial, altura, circunferência, número de folhas e massa seca, em relação à irrigação com água de abastecimento.

- As alfaces irrigadas com água residuária se encontraram dentro do padrão exigido para hortaliças frescas in natura, pela Resolução Anvisa RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001.

## 6 CONSIDERAÇÕES

Sugere-se a realização de pesquisas com percolado de áreas mais profundas, para que se possa monitorar com maior precisão o risco das formas de nitrogênio para as águas subterrâneas devido à irrigação com águas residuárias.

Para reduzir o risco de contaminação das águas subterrâneas por nitrato devido à irrigação com efluente do tratamento de esgoto, podem-se adotar algumas medidas:

- Não realização de adubação nitrogenada mineral, pois foi verificado que o crescimento da cultura foi muito superior com irrigação por água residuária, deste modo sem a adubação o desenvolvimento possivelmente será equivalente ao irrigado com água de abastecimento, diminuindo a introdução de nitrogênio e conseqüente lixiviação de nitrato;

- Manejo não só da irrigação, mas também da quantidade de nutrientes que está sendo disponibilizada para a cultura;

- Deve-se dar preferência para o reuso de águas residuárias em culturas que utilizam maior quantidade de nitrogênio, evitando a perda deste nutriente por lixiviação e conseqüente contaminação das águas subterrâneas, utilizando também plantas com raízes mais profundas;

- Devem ser realizadas pesquisas para avaliar a qual distância mínima o lençol freático deve estar da superfície em que for realizada irrigação com água residuária.

## 7 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, L. P. de. **Avaliação da qualidade microbiológica e da produção de alface americana (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes sistemas de irrigação, utilizando águas residuárias**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

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

BASTOS, R. K. X. Disposição no solo como método de tratamento, reciclagem ou destino final de esgotos sanitários. In: BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e psicultura**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 1-22.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 17-61.

BASTOS, R. K. X. et al. Avaliação da contaminação de hortaliças irrigadas com esgotos sanitários. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. **Anais...** México: AIDIS, 2002. 1 CD-ROM.

BAUMGARTER, D. et al. Alface irrigada com água residuária de atividades agroindustriais. **Acta scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 697-705, out./dez. 2005.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para irrigação**. Brasília, DF: ISEA-FGV/Ecobusiness School, 2003. 52 p.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso de água no meio agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, Campinas v. 1, n. 1, p. 152-169, jun. 2008.

BERWANGER, A. L. **Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquidos de suínos**. 2006. 102. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo/ Processos Químicos e Ciclagem de Elementos)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BORREGO, J. V. M. **Horticultura herbácea especial**. 5. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2002. 702 p.

BOVOLATO, L. E. **Uso e gestão de águas subterrâneas em Araguaína/TO**. 2007. 139 f. Tese (Doutorado em Geografia/Produção do Espaço Geográfico)-Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.

CINTRA FILHO, O. A. **Influência na qualidade da água subterrânea pela irrigação com efluente de lagoa anaeróbia em cultura de milho**. 2008. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 66, p. 66-68, 7 abr. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 397, de 3 de abril de 2008. Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5o, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA no. 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 66, p. 68-69, 7 abr. 2008.

DUARTE, A. de S. **Reúso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*)**. 2006. 187 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

DYNIA, J. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C. Lixiviação de nitrato em latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 5, p. 855-862, maio 2006.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2007. 423 p.

FIORI, M. G. S. **Formas de nitrogênio no sistema solo-planta-água em função da aplicação de água residuária da suinocultura**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

FLORENCIO, L. et al. Utilização de esgotos sanitários: marcos conceituais e regulatórios. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 1-15.

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: SERVIMAR, 2006. 104 p.

FONSECA, A. F. da. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FONSECA, S. P. P. **Tratamento de esgoto por disposição no solo**. Belo Horizonte: FEAM, 2005. 10 p.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1979. 604 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Aplicação controlada de água residuária e lodo de esgoto no solo, para melhorar e incrementar a agricultura do semi-árido nordestino**. Brasília, DF, 2007. 120 p.

GLOAGUEN, T. V. **Transferência de espécies químicas através de um solo cultivado com milho e girassol e fertirrigado com efluente de esgoto doméstico**. 2006. 113 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GLOAGUEN, T. V. et al. Composição química da solução do solo nas diferentes classes de poro do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, n. 5, p. 1105-1113, 2009.

GOMES, M. A. F. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 416 p.

GOMES, M. A. F. et al. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos**. 2. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 62 p.

GONÇALVES, A. D. M. A. **Efeito da temperatura no transporte dos íons potássio e nitrato no solo**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Física do Ambiente Agrícola)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

GOTO, R.; TIVELLI, S. W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: UNESP, 1998. 319 p.

GUILLERMO, L. S.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: UFPB, 1999. 109 p.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre v. 7, n. 4, p. 75-95, out./dez. 2002.

KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 141-148.

LIMA, C. J. G. S. **Calibração e manejo de extratores providos de cápsulas porosas e transdutores de pressão para monitoramento de íons na fertirrigação.** 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

LIMA, S. M. S. et al. Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 21-25. 2005. Suplemento.

LIMA JUNIOR, J. A. de. **Análise técnica e econômica da produção de alface americana irrigada por gotejamento.** 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Engenharia de Água e Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MALTA, L. R. dos S. **Simulação do balanço e transporte de nitrogênio e fósforo provenientes de dejetos animais aplicados em áreas agrícolas estudo de caso: bacia do rio Toledo – Paraná – Brasil.** 2009. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil/Engenharia Hidráulica)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. **Reúso de água.** Barueri: Manole, 2003. 579 p.

MARA, D.; CAIRNCROSS, S. **Diretrizes para el uso sin riesgos de águas residuales y excretas em agricultura e acuicultura.** Genebra: Organização Mundial da Saúde, 1990. 213 p.

MARQUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. (Circular técnica, 57).

MARQUES, M. O. et al. Uso de esgotos tratados em irrigação: aspectos agrônômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura.** Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 61-118.

MARQUES JUNIOR, J. et al. Aspectos metodológicos para estudos de utilização de águas residuárias em agricultura. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 331-392.

MATTOS, K. M. da C. **Viabilidade da irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola.** 2003. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e

Drenagem)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

MAXIMO, C. C. **Avaliação do emprego de efluentes sanitários tratados em irrigação ornamental no Distrito Federal**. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)-Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.

MONTES, C. R. et al. Irrigação com esgotos tratados: impactos no solo e aquíferos. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K.X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 155-200.

MOTA, S; von SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428 p.

MOTA, S. et al. Irrigação com esgotos sanitários e efeitos nas plantas. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 201-238.

MURAYAMA, S. **Horticultura**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2002. 150 p.

NICHELE, J. **Utilização de efluentes sanitários tratados para o suprimento de nutrientes à cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 520 p.

OLIVEIRA, F. A. **Manejo da fertirrigação para a cultura do melão utilizando extratores de solução do solo**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2008.

PIEIDADE, A. R. **Desenvolvimento vegetativo de quatro espécies de grama irrigadas com efluente de estação de tratamento de esgoto doméstico**. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado

em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

PINTO, M. A. T. et al. Reuso das águas residuárias: uma análise crítica. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 393-403.

RESENDE, A. V. de. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29 p.

RIBEIRO, A. G.; GALBIATTI, J. A. Contaminação por nitrato e sódio da água percolada e da planta de alface irrigada com água residuária. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 4, n. 1, p. 56-67, 2004.

SANDRI, D. **Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leitos cultivados com macrófitas**. 2003. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola/Água e Solo)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

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

SILVA, R. R. da. **Avaliação sócio-ambiental do uso de efluente de esgoto tratado na irrigação de culturas no município de Lins-SP**. 2008. 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SILVA, R. S. P. **Reuso agrícola do efluente de um filtro anaeróbio utilizando um sistema de irrigação por sulcos**. 2003. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SMANHOTTO, A. **Aplicação de água residuária tratada de suinocultura em solo cultivado com soja**. 2008. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

SYLVESTRE, T. de B. **Produção de alface-crespa, acúmulo de nitrato na planta e lixiviação do íon no solo em função de adubação nitrogenada**. 2010. 41 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

TAVARES, T. de L. et al. Efeitos da adubação do solo e da irrigação sobre os componentes de produção da alface. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 231-235, 2005. Suplemento.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 30-36.

SPERLING, M. von et al. Impacto dos nutrientes do esgoto lançado em corpos de água. In: MOTA, F. S. B.; SPERLING, M. von. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 26-51.

ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. de. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2005. 74 p.