

IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO PARA PRODUÇÃO DE ALFACE FERTIRRIGADA COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS AGROINDUSTRIAIS

CARLOS ROBERTO JUCHEN¹; FLORIANO LUIZ SUSZEK² e MARCIO ANTÔNIO VILAS BOAS³

¹ Coordenação de Processos Químicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

UTFPR/TOLEDO/COPEQUI. Rua Cristo Rei, 19, Toledo – PR. Fone: (0XX45) 3379-6800, e-mail: crjuchen@utfpr.edu.br

² Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

UNIOESTE/CASCAVEL/CCET/PGEAGRI/RHESA, Cascavel - PR, Fone: (0XX45) 3220-3245, e-mail: flsuszek@hotmail.com

³ Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

UNIOESTE/CASCAVEL/CCET/PGEAGRI/RHESA, Cascavel - PR, Fone: (0XX45) 3220-3262, e-mail: Marcio.vilasboas@unioeste.br

1 RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de uma produção de alface fertirrigada com águas residuárias de agroindústrias de processamento de carne e leite. As águas foram coletadas após o sistema de tratamento em lagoas de estabilização, o qual é amplamente utilizado por agroindústrias da região oeste do Paraná, Brasil. Desta forma, os objetivos específicos foram a avaliação do desempenho do sistema de fertirrigação por gotejamento pela uniformidade, gráficos de controle e parâmetros físico-químicos, e o desenvolvimento da cultura de alface sob os aspectos de produtividade, teores de nitrato e higiênico-sanitário. Estatisticamente o experimento foi inteiramente casualizado, sendo quatro tratamentos e cinco repetições totalizando 20 parcelas sobre os quais se dispuseram o sistema de fertirrigação constituído por tubos gotejadores do modelo "Chapin". As fertirrigações ocorreram numa concentração de 60 Kg.ha⁻¹ de nitrogênio diluídos na água de irrigação por meio de um injetor Venturi de ¾". Os Coeficientes de uniformidade obtidos nos tratamentos foram em média maiores que 80% e as cartas de controle mostraram que o processo esteve sob controle estatístico. As produções da alface nos tratamentos fertirrigados com efluentes das agroindústrias de carne e leite foram respectivamente de 70,38 ton ha⁻¹ e 59,60 ton ha⁻¹, estatisticamente equivalente ao fertirrigado pela uréia. Os teores de nitrato obtidos ficaram abaixo dos padrões de referência e os de contaminação microbiológica abaixo dos padrões recomendados pela legislação brasileira.

Palavras-chave: coeficiente de uniformidade, controle da qualidade, irrigação localizada, nitrato em hortaliças.

**JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; VILAS BOAS, M. A.
DRIP IRRIGATION FOR PRODUCTION OF LETTUCE FERTIRRIGATION WITH
WATER AGROINDUSTRY WASTEWATER**

2 ABSTRACT

This paper presents the results of lettuce production fertigated with wastewater from meat and milk processing plants. The water was collected after a treatment process consisting of stabilization ponds, which is widely used by agribusinesses in western Parana state, Brazil. Thus, the specific objectives were to evaluate the performance of the drip fertigation system regarding uniformity, control graphs and physiochemical parameters, and also the development of the lettuce culture with regard to productivity, nitrate levels and hygienic-sanitary aspects. The experiment was completely randomized with four treatments and five replications in a total of 20 plots under a fertigation system consisting of model "Chapin" driplines. The fertigations occurred at a concentration of 60 kg•ha⁻¹ of nitrogen diluted in irrigation water through a ¾" Venturi injector. The uniformity coefficients obtained in the treatments were on average higher than 80% and control charts showed that the process was under statistical control. The production of lettuce in fertigation with effluents from meat and milk processing plants were respectively 70.38 ton•ha⁻¹ and 59.60 ton•ha⁻¹, statistically equivalent to urea fertigation. The nitrate levels obtained were below standards and the microbial contamination was also below the standards recommended by the Brazilian legislation.

Keywords: uniformity coefficient, quality control, irrigation, nitrate in vegetables

3 INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos é atualmente uma das maiores preocupações da humanidade, fazendo das águas residuárias uma fonte para reutilização nas mais diversas formas, mas principalmente na agricultura. Os Cadernos Setoriais dos Recursos Hídricos (Ministério do Meio Ambiente, 2006) citam que a agricultura brasileira consome 69% da água dos mananciais, seguindo-se o abastecimento doméstico (21%) e a atividade industrial (10%). Neste contexto, Sandri (2003) relata o grande interesse pela irrigação com águas residuárias, considerando vários aspectos vantajosos na utilização desta técnica.

A resolução CONAMA n°. 54 de 2005 define efluentes líquidos de agroindústrias tratados ou não como água residuária, e o reúso da água como sendo a utilização de águas residuárias. Deste modo o reuso destas águas, principalmente de agroindústrias, podem contribuir significativamente para o gerenciamento dos recursos hídricos regionais. Na região oeste do Paraná, se destaca o uso de lagoas de estabilização, que segundo Matos (2005), são unidades especialmente construídas com a finalidade de tratar águas residuárias por meios predominantemente biológicos, isto é, por ação de microrganismos naturalmente presentes no meio, e podem ser classificadas, de acordo com o tipo de tratamento, em: anaeróbia, facultativa, de maturação ou aeróbia e aerada (com uso de aeração mecânica). A escolha entre as formas de tratamento vai depender da disponibilidade de área junto à fonte geradora da água residuária, taxa de geração do resíduo, velocidade exigida no tratamento do resíduo, e localização (distância de áreas residenciais). O uso de lagoas de estabilização tem sido freqüente para o tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico, sendo muito adequadas no caso das agroindustriais (MATOS, 2005). No Brasil, a utilização de águas residuárias na agricultura deverá crescer consideravelmente, no entanto, nem todos os aspectos positivos e negativos dessa técnica, especialmente sobre as propriedades físicas e

químicas do solo, absorção de nutrientes pelas plantas ou sua toxidez ainda não foram exaustivamente estudados.

Dentre as técnicas de adubação via água, a fertirrigação destaca-se como uma opção vantajosa em relação às outras técnicas, principalmente quando se utiliza sistema de irrigação localizada. Para Maggi et al. (2006) o gotejamento é um sistema de irrigação que promove uma maior eficiência na aplicação de água, pois é aplicada diretamente no solo sobre a região radicular, em pequena intensidade e alta frequência, de modo que o teor de água no solo permaneça próximo à capacidade de campo, permitindo maior flexibilidade da fertirrigação e redução dos custos. Além do que, possibilita a melhoria do uso de insumos em diversas culturas, tanto em aspectos relacionados ao aumento da produtividade quanto na qualidade desses produtos. Porém seus emissores estão entre as peças mais importantes do sistema, possuindo um estreito labirinto que facilmente podem ser entupidos por poluentes, tais como, partículas em suspensão, precipitações químicas, matéria orgânica (MO), e microorganismos (DASBERG e OR 1999; LI ET AL 2006).

Dentre os vegetais consumidos na forma *in natura*, a alface é a mais popular das hortaliças folhosas, e uma das hortaliças mais difundidas atualmente, sendo cultivada por todo o país (LIMA, 2005). No Brasil, a cultura da alface tem uma área plantada de aproximadamente 35.000 ha, sendo que o grupo que predomina é do tipo crespa. Neste grupo, enquadra-se a cultivar Verônica, liderando com 70% do mercado, enquanto o tipo americana detém 15% deste mercado (COSTA; SALA, 2005). Uma das preocupações deste cultivo é sua tendência em acumular nitrato nos seus tecidos, uma vez que este NO_3^- é absorvido pelas raízes e reduzido a NH_4^+ , sendo esta redução e o conseqüente acúmulo de nitrato nas plantas afetado por diversos fatores como os genéticos e ambientais (MIYAZAWA et al., 2001). Do nitrato ingerido em nossa alimentação diária, somente de 5 à 10% é convertido a nitrito na saliva bucal ou por redução gastrintestinal, que por sua vez na corrente sanguínea oxida o ferro ($\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$) da hemoglobina produzindo um problema de saúde denominado meta-hemoglobina, produzindo na hemoglobina a inativação da sua capacidade de transportar o O_2 para a respiração normal das células dos tecidos. Um outro efeito do nitrito na saúde humana é a diminuição da pressão sanguínea (BOINK, SPEIJERS, 2001). Uma das referências deste estudo, é que alguns países e a comunidade européia estabeleceram limites máximos de teores de nitrato na massa fresca para alface produzida em estufa, em: 3.500 mg de $\text{NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$, para o período de verão, 4.500 mg de $\text{NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ para o período de inverno e 2.500 mg de $\text{NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ para alface produzida a céu aberto, destacando que as variações encontradas, não só devem aos efeitos dos diversos fatores que regulam o acúmulo de nitrato nas plantas, mas também à variação dos métodos utilizados para a análise de nitrato (MCCALL, WILLUMSEN, 1998).

Tendo como base as informações relevantes anteriores, este trabalho propõe a reutilização de efluentes agroindustriais, avaliando-se o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento quando submetido a esta reutilização e também se apresenta os aspectos de produtividade e qualidade alcançada pela cultura de alface sujeita a esta fertirrigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma área de Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 2006) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Medianeira, localizada numa altitude de 402 metros, latitude 25° 17' 40" sul, longitude 54 ° 05' 30" W – GR, apresentando um clima tipo Cfa – subtropical úmido mesotérmico (Köppen). A

precipitação anual esta em torno de 1.500 a 1.900 mm e umidade relativa do ar variado entre 80% e 85%.

O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado, composto por quatro tratamentos distribuídos em cinco repetições, perfazendo um total de 20 parcelas de 5,04 m² (1,20 m de largura por 4,20 m de comprimento e 0,20 m de altura), totalizando uma área experimental de aproximadamente 150 m² que inclui os espaçamentos entre as parcelas. Os tratamentos constituídos foram:

- F₀: testemunha (ausência de fertirrigação)
- F_U: fertirrigação com uréia (60 kg de N.ha⁻¹)
- F_L: fertirrigação com águas residuárias de laticínio (60 kg de N.ha⁻¹)
- F_F: fertirrigação com águas residuárias de frigorífico (60 kg de N.ha⁻¹)

Os efluentes foram coletados ao final das operações de tratamento em lagoas facultativas das agroindústrias e suas análises apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características das águas residuárias do frigorífico e laticínio*

Parâmetro	Método	Frigorífico	Laticínio
pH	Potenciômetro	7,80	8,05
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	Refluxo/ampola	185	314
DBO5 (mg O ₂ .L ⁻¹)	Diluição	109	81
Matéria sedimentável (ml.L ⁻¹)	Cone Imhoff	<1	<1
N-Total (mg.L ⁻¹)	Kjeldahl	60,34	60
Temperatura (°C)	Termômetro	22	22
CE (dS.m ⁻¹)	Condutivímetro	2,60	3,05
Contagem de Coliformes Totais (NMP.100 mL ⁻¹)	Tubos múltiplos	1500	1500
Contagem de Coliformes Fecais (NMP.100 mL ⁻¹)	Tubos múltiplos	50	750
Presença de Salmonella (NMP.100 mL ⁻¹)	Tubos múltiplos	Ausência	Ausência

*Nota: Dados fornecidos pelo IAP (Instituto Ambiental do Paraná) – Coordenadoria de Estudos e Padrões Ambientais/ Análises microbiológicas da UTFPR Medianeira (NMP – Número Mais Provável)

Após o transplante iniciou-se o processo de fertirrigação, sendo os efluentes diluídos em água proveniente de um poço artesiano. Se estabeleceu uma lamina d'água de 17,7 mm.dia⁻¹ pela necessidade do Venturi promover a sucção de 45,5 L.dia⁻¹ de águas residuárias a fim de suprir a concentração de nitrogênio estabelecida por Rajj (1985) para cultivo de alfaces.

O sistema foi operado numa pressão de 70 kPa e a injeção dos fertilizantes realizada por meio de um Venturi do modelo ¾". A filtragem realizada por dois filtros, o primeiro para materiais grosseiros e outro de tela de aço do modelo ¾ Y para os finos. As tubulações foram de polietileno na medida de ¾", com reguladores de pressão e registros de gaveta independentes para cada uma das parcelas. Cada parcela continha quatro tubos gotejadores de 5m de comprimento do modelo "Chapin" (espaçamento entre gotejos de 10 cm), dispostas 0,30 m entre linhas de gotejo. Adaptaram-se aos tubos gotejadores um conector inicial do modelo 10/16S e também uma válvula de dreno, com a finalidade de limpeza no início e final das operações.

Optou-se pela variedade de alface Tainá (alface americana) transplantadas em parcelas cobertas com estufa plástica tipo túnel a fim de se controlar a lamina de água, sendo que após 55 dias do transplante foram coletadas 3 unidades retiradas nas fileiras do meio de cada parcela.

O coeficiente de uniformidade de distribuição de Christiansen (CUC) foi realizado com os dados da vazão coletados aleatoriamente nas parcelas de cada tratamento e também linearmente nos tubos gotejadores de cada tratamento.

Os gráficos de controle foram utilizados para verificar as características da qualidade do processo de fertirrigação dos tratamentos. Por meio do gráfico denominado de "X - R" foi realizado o monitoramento do valor médio (\bar{X}) e a sua variabilidade, onde o modelo utiliza a média aritmética dos valores resultantes das medições realizadas de forma amostral, como medida de posição do processo, fixando três desvios – padrões acrescidos à média, definindo o Limite Superior de Controle (LSC), conforme Equação 1 e três desvios – padrões decrescidos à média, conforme Equação 2, definindo o Limite Inferior de Controle (LIC) do processo, assim a linha central, representa o valor médio da qualidade que corresponde ao estado sob controle (LIMA, 2006).

$$\text{LSC} = \bar{X} + 3\sigma \quad (\text{eq. 1})$$

$$\text{LIC} = \bar{X} - 3\sigma \quad (\text{eq. 2})$$

$$\sigma = \hat{\sigma} MR.(d_2)^{-1} \quad (\text{eq. 3})$$

Onde: $\hat{\sigma}$ é o estimador do desvio-padrão populacional (σ) e d_2 o fator de correção tabelado e depende do tamanho da amostra; MR: é a amplitude amostral ocorrida entre os ensaios e \bar{X} é a linha central do gráfico de controle e corresponde ao valor médio das vazões de cada tratamento.

Para a elaboração das cartas de controle, utilizaram-se dados de vazões de 120 pontos de coleta e realizadas em triplicatas para os quatro tratamentos F_O , F_U , F_L e F_F , sendo utilizado o programa computacional Minitab (versão 15.1.1.0), e a capacidade do processo (C_p) realizada por meio das Equações 4 e 5.

$$C_p = (\text{vazão laboratório}) / (6\sigma) \quad \text{Eq. (4)}$$

$$\sigma = R / (d_2) \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde: 6σ é a capacidade do processo, R é a amplitude média e d_2 é o fator para a linha central que depende do tamanho da amostra e é encontrado em tabela de fatores para construção de gráficos de controle para variáveis.

A determinação dos parâmetros físico-químicos potencial hidrogeniônico - pH e condutividade elétrica – CE foram realizadas nos Laboratórios de Química Analítica da UTFPR, imediatamente após a coleta das amostras, sendo utilizados os seguintes equipamentos: pHmetro da marca TecNal, modelo 3MP, e condutímetro da marca TECNOPON, modelo MCA 150.

Ao final do ciclo da cultura, amostras de cada uma das parcelas foram encaminhadas para o Laboratório de Micro Biologia da UTFPR, onde se realizaram as análises microbiológicas de coliformes totais e fecais.

Os resultados foram interpretados estatisticamente, por meio das análises de variância e as médias foram comparadas pelo teste "F", adotando-se o nível de 5% de probabilidade, sendo as médias das variáveis analisadas pelo teste Tukey.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 UNIFORMIDADE E QUALIDADE DA FERTIRRIGAÇÃO

O Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de variação é apresentado na Tabela 2, e expressam números limítrofes sob o critério do fabricante, que delimita uma eficiência de 95% para uma pressão de serviço de 70 kPa em tubos de até 30 m de comprimento quando submetido somente a irrigação (SCARCELLI, 1998), caso do tratamento denominada F_0 .

Tabela 2. Vazão média, Coeficiente de variação e Coeficiente de Uniformidade dos gotejadores, operando sob pressão de 70 kPa

	Valores médios					
	Tratamentos			Tratamento linear		
	q (L.h ⁻¹ m ⁻¹)	CV (%)	CUC (%)	q (L.h ⁻¹ m ⁻¹)	CV (%)	CUC (%)
F_0	7,24	5,5	95	6,95	8,6	93
F_U	6,86	11,9	92	7,0	6,8	96
F_F	7,04	7,9	94	7,1	3,0	97
F_L	6,10	14,1	89	7,2	13,4	90

***Nota:** Vazão média (q), Coeficiente de variação (CV) e Coeficiente de Uniformidade (CUC)

As linhas de gotejamento de cada um dos tratamentos apresentaram valores dos coeficientes de uniformidade entre 89 e 97% sendo aceitáveis para um sistema de irrigação, onde valores acima de 80% são recomendáveis e comparados ao estudo de Souza et al. (2008) que avaliaram o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento em vila rural obtendo média de 93,7% para o CUC e 89,3% para a UE (uniformidade de emissão). Assim, a fertirrigação com estas águas residuárias indica um excelente padrão de manejo, bem como as utilizações de dois filtros favoreceram tais resultados. Também Sandri (2007) obteve uma boa eficiência do sistema de irrigação por gotejamento, utilizando águas residuárias provenientes de um eficiente sistema de tratamento.

Os maiores CV e menores CUC foram encontrados para o tratamento com as águas residuárias de laticínios, demonstrando que esta variação pode ser influenciada pela menor qualidade do efluente, como maior carga orgânica, ou outro parâmetro físico-químico inconvenientes ao sistema de irrigação por gotejamento, como a alta presença de sais derivados da fabricação de queijos, os quais devem ser investigados. Observações descritas por Frigo et al. (2006) relata que altos valores de condutividade elétrica nas águas residuárias caracterizada pelo aumento na quantidade de sais pode ser um fator determinante para o entupimento de bicos de sistemas de gotejamento, trazendo prejuízos ao agricultor.

A análise da variância das médias das vazões descritos na Tabela 3, para os dois modos propostos de coleta, mostra que não existem diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade para as médias encontradas nas linhas internas de gotejo dos tratamentos F_0 , F_U e F_F e F_L , porém se constatou que a mesma análise aplicada nas linhas de gotejo dos tratamentos são diferentes ao nível de 5% de probabilidade, demonstrando que a fertirrigação realizada com as águas residuárias de laticínio influenciaram tais resultados, o que evidencia o já descrito anteriormente.

Tabela 3. Análise de variância das vazões

Causa de variação	g.l.	Tratamentos				Tratamento linear			
		s.q.	q.m.	F	<i>p</i>	s.q.	q.m.	F	<i>p</i>
tratamento	3	0,284	0,095	0,24	0,866	8,140	2,713	5,59	0,003
resíduo	36	14,052	0,393			17,489	0,486		
total	39	14,336				25,628			
		$\bar{x} = 7,054$				$\bar{x} = 6,7972$			
		C.V. = 8,6%				C.V. = 11,93%			
		$\sigma = 0,606$				$\sigma = 0,8106$			

*Nota: graus de liberdade (g.l.), soma dos quadrados (s.q.), quadrado médio (q.m.), teste Fischer (F), probabilidade (*p*), coeficiente de variação (C.V.), desvio padrão (σ).

A carta R na Figura 1 mostra que nenhum ponto saiu do controle, o que é um requisito, segundo Montgomery (2004) para elaboração da carta X.

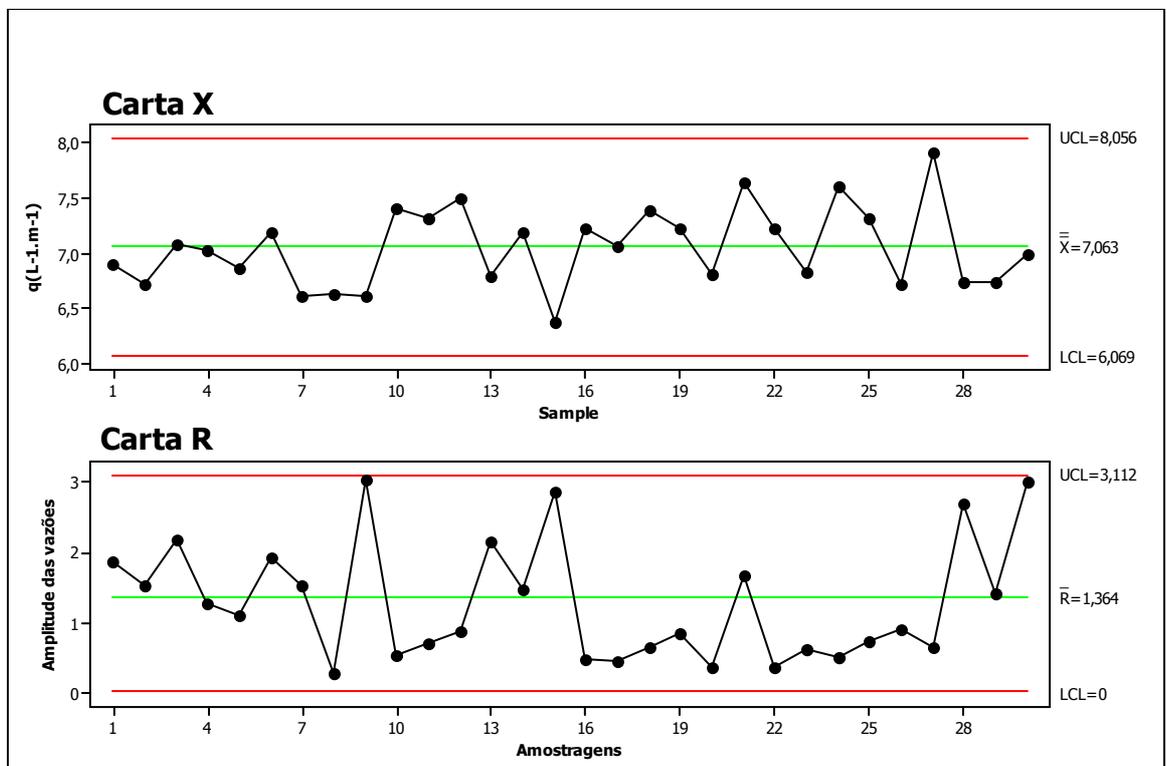


Figura 1. Gráficos de controle "X - R" para a vazões q ($l \cdot h^{-1} \cdot m^{-1}$) dos 4 tratamentos

Na carta X os limites de controle da especificação (LCE) estiveram entre $6,069 l \cdot h^{-1} \cdot m^{-1}$ para o limite inferior (LICE) e $8,058 l \cdot h^{-1} \cdot m^{-1}$ para o limite superior (LSCE), sendo que nos 4 tratamentos observou-se que as vazões se distribuem próximos da média de $7,063 l \cdot h^{-1} \cdot m^{-1}$ e a variabilidade em todos os ensaios se manteve dentro do controle, indicando deste modo que não existiu nenhum fator particular de processo que promovesse um comportamento diferente do usual ou que pudesse resultar em um deslocamento do nível de qualidade esperado. Porém sugere-se neste estudo uma investigação aprofundada, pois o gráfico de amplitudes mostra uma sequência de pontos abaixo da linha central entre as amostragens 22 e 27, sugerindo

deste modo que pode haver um problema de causa especial do processo e que promove um comportamento diferente do usual ou que pode resultar em um deslocamento do nível de qualidade esperado, no entanto Montgomery (2004) afirma que o gráfico de amplitude móvel não fornece informação segura sobre a mudança na variabilidade do processo. Conclui-se também que nenhum ponto de gotejamento saiu do controle do processo, ou seja não tiveram uma variação $> 3\sigma$ ou $< 3\sigma$, que foram os limites estabelecidos para o processo.

A eficiência do sistema de irrigação teve como base a vazão catalogada pelo fabricante de $7,27 \text{ l.h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ em laboratório e operando-se numa pressão de 70 KPa, deste modo os valores obtidos neste estudo são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Limites de controle e capacidade de processo da vazão do experimento

	R	σ	X	LSC	LIC	Cp
Fertirrigação	0,26	0,066	7,063	8,056	6,069	2,87

***Nota:** Amplitude média (R), desvio-padrão populacional (σ), linha central do gráfico de controle (X), Limite Superior de Controle (LSC), Limite Inferior de Controle (LIC), Capacidade de processo (Cp)

Ao analisar a capacidade de processo (Cp) observa-se que os tratamentos são capazes, pois o valor ideal segundo Montgomery (2004) deve ser maior que 1,50 para materiais novos, caso deste experimento. Também Justi et al. (2010) obteve para um CUC entre 70 e 75% o índice de capacidade do processo igual a 2,26, para CUC entre 75 e 80% o índice de capacidade do processo foi de 2,97 e para um CUC maior que 80% um índice de capacidade do processo de 3,00, indicando que os sistemas de irrigação podem ser controlados eficazmente empregando-se a metodologia de Controle Estatístico de Processos.

A condutividade elétrica mostrada na Tabela 5 manteve uma regularidade demonstrado pelos baixos coeficientes de variação, fato que indica que as lagoas de estabilização utilizadas para os tratamentos dos efluentes também mantiveram uma regularidade no seu processo de tratamento durante o período do experimento. Os tratamentos F_O e F_U tiveram valores muito próximos, onde se conclui que a uréia não provocou alterações na CE. Já os tratamentos F_L e F_F , apresentaram respectivamente valores médios mais elevados de $0,486 \text{ dS.m}^{-1}$ e $0,446 \text{ dS.m}^{-1}$, porém muito abaixo dos estudos realizados por Capra e Scicolone (2007), que aplicaram efluente doméstico bruto em um sistema de irrigação por gotejamento e obtiveram condutividades entre $0,90$ e $1,70 \text{ dS.m}^{-1}$, sendo classificados de risco moderado ao entupimento. Assim a CE, que consiste na forma indireta de expressar a quantidade total de sais ou sólidos totais dissolvidos, mostra para este estudo também um baixo risco de entupimento. Destaca-se que a baixa CE foi influenciado pela diluição proporcionada pelo sistema de irrigação, observando uma diminuição de $3,05 \text{ dS.m}^{-1}$ (efluente bruto) para $0,486 \text{ dS.m}^{-1}$ no tratamento F_L , e de $2,60 \text{ dS.m}^{-1}$ (efluente bruto) para $0,446 \text{ dS.m}^{-1}$ no tratamento F_F .

Tabela 5. Média de pH e condutividade elétrica, para as dez amostragens no ciclo da cultura*

	Tratamentos			
	F ₀	F _U	F _L	F _F
	Condutividade Elétrica (dS.m ⁻¹)			
σ	2,139	3,917	3,542	2,319
média	0,186	0,190	0,486	0,446
C.V. (%)	1,147	2,064	0,729	0,520
	pH			
σ	0,056	0,045	0,035	0,037
média	7,332	7,413	7,991	7,864
C.V. (%)	0,760	0,610	0,443	0,469

*Nota: testemunha (F₀), fertirrigação com uréia (F_U), fertirrigação com águas residuárias de laticínio (F_L), fertirrigação com águas residuárias de frigorífico (F_F), (σ) Desvio padrão, Coeficiente de variação (CV).

O pH na fertirrigação das águas residuárias manteve-se com valores em média de 7,99 no tratamento F_L e 7,86 no F_F, dentro do recomendado pelo CONAMA n.º. 357, de 17 de março de 2005, que no seu artigo 17 enquadra efluentes com valores de pH situados no intervalo 6,0 e 9,0 e temperatura inferior a 40 °C, como possíveis de serem lançados em águas doces de classe 3. Destaca-se também neste parâmetro os baixos coeficientes de variação o que reforça a afirmação anterior da constância na qualidade do tratamento biológico realizado pelas lagoas facultativas das agroindústrias, sendo que o pH do efluente bruto variou de 8,05 para 7,99 em média para o tratamento de águas residuárias de laticínios e de 7,80 para 7,86 em média nos tratamentos de águas residuárias de frigoríficos.

Na discussão dos parâmetros de pH e CE, cita-se que no Brasil, o CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) lançou, em 2003, uma minuta de resolução, bastante similar à recomendação da Organização Mundial da Saúde, incentivando o reúso de águas de qualidade inferior e estabelecendo os padrões de qualidade dos efluentes para cada modalidade de reúso, o que representou um grande passo na legalização da técnica no país. Contudo, tal resolução não entrou em vigor e, no ano de 2005, o órgão lançou a Resolução n.º. 54 que incentiva a prática do reúso em diversas modalidades, mas não estabelece parâmetros específicos para seu emprego. O CNRH incentiva discussões e estudos sobre o tema, por meio do grupo técnico GT-Reúso, composto por pesquisadores, técnicos e demais interessados no assunto. Em 2006, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) do estado de São Paulo lançou a Instrução Técnica n.º. 31, que define procedimentos internos e critérios mínimos para disciplinar o reúso de água proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. São vários os parâmetros estipulados para caracterização do esgoto doméstico tratado, como por exemplo, efluentes que apresentam condutividade elétrica entre 0,75 e 2,9 dS.m⁻¹, muito acima dos determinados neste estudo, somente podem ser utilizados para aplicação em solos bem drenados e para o cultivo de espécies tolerantes a salinidade (BERTONCINI, 2008).

5.2 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA PLANTA

Os resultados médios experimentais, após 55 dias de campo, referentes à altura, diâmetro, número de folhas e produtividade das alfaces dos tratamentos F₀, F_U, F_F e F_L que são apresentados na Tabela 6, foram calculados considerando-se 60 unidades de amostragem e serviram para realização da estatística descritiva, a qual constata uma diferença significativa ao nível de 5% para a altura e diâmetro das amostras entre os tratamentos fertigados e a

testemunha, diferentemente de estudos desenvolvidos por Sandri (2007), onde as alturas da planta foram pouco influenciadas pelo uso de água residuária em todas as amostragens.

Tabela 6. Parâmetros médios de crescimento dos cultivares de alface*

Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	N.º de folhas	Produção (ton.ha ⁻¹)
F _O	18,74 b	31,86 b	33,12 a	44,10 b
F _U	21,06 a	33,94 a	34,30 a	66,70 a
F _F	22,06 a	36,66 a	33,94 a	70,38 a
F _L	22,00 a	33,12 a	31,86 a	59,60 a

*Nota: Médias que apresentam as mesmas letras, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Não se encontrou diferença significativa para o número de folhas. Porém, a produtividade foi significativa para os tratamentos fertirrigados, principalmente naqueles em que se utilizou águas residuárias, onde as variações entre os tratamentos F_O e F_F por exemplo, se aproximaram a 60%, podendo-se afirmar que a produtividade foi altamente beneficiada pela fertirrigação com águas residuárias. A disponibilidade dos nutrientes, principalmente do nitrogênio, proveniente de fertilizantes orgânicos são deste modo fundamentais ao crescimento e desenvolvimento das plantas e podem explicar a maior produtividade alcançada pelas amostras fertirrigadas. Javarez Junior *et al* (2010), também publicou seu estudo da eficiência do reuso de águas residuárias na irrigação da cultura do milho, onde demonstra a maior eficiência para o uso da água quando utilizadas para aplicação de águas residuárias e cita a viabilidade econômica no sentido de economia de fertilizantes com um melhor aproveitamento dos recursos hídricos e das águas residuárias para uso na agricultura. Também Sandri (2007) reafirma que a produtividade da alface pode ser mais elevada nos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo e superficial utilizando-se água residuária.

5.3 ASPECTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS

Ao nível de 5% de significância, existiu diferença entre os tratamentos para os teores de nitrato na matéria fresca da parte aérea das amostras (Tabela 7), e nos tratamentos fertirrigados por águas residuárias estes teores são superiores ao fertirrigado pela uréia.

Tabela 7. Teores médios de nitrato, N-total na matéria fresca e Coliformes dos cultivares de alface*

Tratamento	Nitrato	N-total	Coliformes totais	Coliformes fecais
	Matéria fresca	Matéria seca		
	mg.Kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	NMP.100g ⁻¹	NMP.100g ⁻¹
F _O	699,8 b	24,3 a	150	<3
F _U	778,2 b	25,0 a	93	<3
F _F	1.012,0 a	22,8 a	21	<3
F _L	1.096,0 a	23,4 a	93	<3

*Nota: Médias que apresentam as mesmas letras, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Análises microbiológicas da UTFPR campus Medianeira (NMP – Número Mais Provável)

A disponibilidade do nitrogênio nos efluentes promoveram um acúmulo entre 1.012 mg de $\text{NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ no tratamento F_L e 1.096 mg de $\text{NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ no tratamento F_F , correspondente a aproximadamente 40% dos limites máximos estabelecidos pela comunidade européia, sendo que as variações encontradas, não só devem aos efeitos dos diversos fatores que regulam o acúmulo de nitrato nas plantas, mas também à variação dos métodos utilizados para a análise de nitrato (MCCALL e WILLUMSEN, 1998). Estudo realizado por Silva (2009) obteve valores máximo de 363,66 mg.kg⁻¹ de NO_3^- na matéria fresca das plantas em cinco cultivares estudados, abaixo dos valores determinados neste estudo, inclusive dos menores valores encontrados para os tratamentos F_O e F_U . Os teores de N-total na matéria seca não tiveram uma relação direta entre os teores de nitrato acumulado na parte aérea das plantas. Também se pode inferir que os maiores teores de nitrato não induziram necessariamente a uma maior produção. Verifica-se que os valores obtidos do acúmulo de nitrato na parte aérea das plantas, não forneceram risco a saúde humana em nenhum dos tratamentos.

Os níveis de microorganismos nas alfaces foram de 21 a 150 NMP.100g⁻¹, inferiores ao estabelecido em legislação brasileira, a qual tolera-se na amostra até 1.000 NMP.100g⁻¹ de coliformes para este grupo de hortaliças (BRASIL, 1999), fator determinante para se indicar a metodologia do sistema de irrigação por gotejamento utilizado neste experimento para produção de hortaliças folhosas quando utilizados águas residuárias provenientes de lagoas de estabilização de agroindústrias frigoríficas e lácteas. Resultados semelhantes a este estudo foram obtidos por Lima et al. (2005) realizando a irrigação de alfaces com águas residuárias domésticas tratados em lagoas de polimento e decantação, que apresentaram qualidade sanitária dentro do esperado, recomendando ser instalado em pequenas propriedades rurais que queiram praticar o reúso planejado de águas residuárias.

6 CONCLUSÕES

Os tratamentos fertirrigados pelo sistema de gotejamento apresentaram coeficientes de uniformidade entre 89 e 97%. Os maiores coeficientes de variação e menores de uniformidades foram encontrados para a fertirrigação com as águas residuárias de laticínios.

O índice de capacidade do processo foi de 2,87, indicando que a metodologia de controle estatístico de processos mostrou ser um método adequado para avaliar a qualidade do sistema de fertirrigação utilizado.

A condutividade elétrica decaiu de 3,05 dS.m⁻¹ para 0,486 dS.m⁻¹ no tratamento F_L , e de 2,60 dS.m⁻¹ para 0,446 dS.m⁻¹ no tratamento F_F , proporcionada pela diluição dos efluentes, sendo que estes valores oferecem baixo risco de entupimento do sistema de irrigação utilizado.

Os potenciais hidrogeniônico não sofreram grandes alterações, apresentando no ciclo experimental coeficientes de variação menores que 0,76 e próximo dos valores dos efluentes coletados.

Constataram-se estatisticamente diferenças significativas ao nível de 5% para a altura e diâmetro das alfaces fertirrigados e a testemunha, e não se encontrou diferença significativa para o número de folhas, porém a produtividade foi significativa para os tratamentos fertirrigados, com variações de aproximadamente 60% entre o fertirrigado pelas águas residuárias de frigoríficos e a testemunha.

Os níveis de nitrato na parte aérea das plantas corresponderam a aproximadamente 40% dos limites máximos estabelecidos pela comunidade européia, desta forma não oferecem risco a saúde humana em nenhum dos tratamentos.

Os números de microorganismos nas alfaves situaram entre 21 a 150 NMP.100g⁻¹, inferiores ao estabelecido em legislação brasileira.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

BERTONCINI, E. I. **Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola**. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, Piracicaba, SP, p.151-169, 2008.

BOINK, A.; SPEIJER S. A. G. **Health effect of nitrates and nitrites**, a review. *Acta horticulturae*. 563p, 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 54**. Brasília, 2005. Diário Oficial da União, 09 mar. 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 357**. Brasília: 2005. Diário Oficial da União, 17 mar. 2005.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e do Abastecimento**, Secretaria de Defesa Agropecuária. Métodos de Análise Microbiológica para Alimentos. Brasília, 489 p.,1999.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**, Secretaria de Recursos Hídricos. Caderno Setorial de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. **Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems**. Journal of Cleaner Production, v. 15, p. 1529-1534, 2007.

COSTA, C. P.; SALA, F. C. **A evolução da alfavicultura brasileira**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 23, n. 1, 2005.

DASBERG S.; OR D. **Drip irrigation**. Springer, Berlin, 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 306p.

FRIGO, E. P.; SAMPAIO. S. C.; FREITAS. P. L.; NÓBREGA. L. H.; SANTOS. R. F.; MALLMANN. L. S. **Desempenho do Sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária de suinocultura**. Irriga, Botucatu. Vol.11 N°3 p 305-318, Jul – Set. 2006.

JAVAREZ JR, A.; RIBEIRO T. A. P.; PAULA JR, D. R. **Eficiência do reúso de águas residuárias na irrigação da cultura do milho**. Irriga, Botucatu, v. 15, n. 3, p. 231-247, 2010.

JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A; SAMPAIO, S. C. **Índice de Capacidade do Processo na Avaliação da Irrigação por Aspersão**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.2, p.264-270, mar./abr. 2010.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LI Y.K; YANG P.L; REN S.M; XU T.W. **Hydraulic characterizations of tortuous labyrinth path drip irrigation emitter**. J Hydrodyn Ser B 18(4):449–457. 2006.

LIMA, A. A. N.; LIMA, J. R.1; SILVA, J. L.; ALENCAR, J. R. B.; SOARES-SOBRINHO, J. L.; LIMA, L. G.; ROLIM-NETO, P. J. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Revista Ciências Farmêuticas Básica e Aplicada**, Araraquara, SP, v 27, n.3, p.177-187, 2006.

LIMA, B. A. B. **Avaliação de mudas de alface submetidas à adubação foliar com biofertilizantes cultivadas em diferentes substratos**. 2005. 27 f. Monografia (Graduação em Agronomia) -ESAM, Mossoró. 2005.

LIMA, S. M. S.; HENRIQUE, I. N.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUSA, J.T.; ARAÚJO, H. W. C. **Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, 2005.

MAGGI, M. F.; KLAR, A. E.; JADOSKI, C. J.; ANDRADE, A.R.S. Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 415-427, 2006.

MATOS, A, T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**. Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental - Universidade Federal de Viçosa, 2005. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dec/simea/apresentacoes/CursoMatosFEAM2005.pdf>> Acesso em: 24 ago. de 2012.

McCALL, D.; WILLUMSEN, J. Effects of nitrate, ammonium and chloride application on the yield and nitrate content of soil-grown lettuce. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 37, n. 5, p. 698-703. 1998.

MIYAZAWA, M.; KHAUTONIAN, C. A.; ODENATH-PENHA, L. A. Teor de nitrato nas folhas de alface produzidas em cultivo convencional, orgânico e hidropônico. **Agroecologia Hoje**. Ano II, n. 7, fev./mar. 2001, p. 23.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. LTC, Rio de Janeiro, 2004.

RAIJ, B.V. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Bol. Téc. IAC: n. 100. Campinas, 1985. p.1-107.

SANDRI, D. **Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leitões cultivados com macrófita**. 2003. 186 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SANDRI, D.; MATSURA, E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB , v.11, n.1, p.17–29, 2007.

SCARCELLI. **Cátalogo de informações**: Avaré, 1995.

SILVA, S.P. **Produtividade e concentração de nitrato em cultivares de alface conduzidas em sistema hidropônico nos municípios de Altamira e Belém**, no Estado do Pará. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2009.

SOUZA, E. A. M.; SOUZA, P. C.; VILAS BOAS, M. A. **Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional fixo e gotejamento em vila rural**. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 47-62, 2008.