

DESEMPENHO DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM EFLUENTE DE LATICÍNIO TRATADO

NATALIA P. F. MACAN¹, TAMARA M. GOMES², FABRÍCIO ROSSI², ANA BEATRIZ P. SILVA³, GIOVANA TOMMASO⁴

¹ Graduanda em Engenharia de Biossistemas, Depto. de Engenharia de Biossistemas, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), USP, Pirassununga-SP, Fone: (0xx19) 992888854, natalia.macan@usp.br

² Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia de Biossistemas, FZEA/USP, Pirassununga-SP

³ Graduanda em Engenharia de Biossistemas, Depto. de Engenharia de Biossistemas, FZEA/USP, Pirassununga-SP

⁴ Eng. de Alimentos, Profa. Doutora, Depto. de Engenharia de Alimentos, FZEA/USP, Pirassununga-SP

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: Como o reuso de águas residuárias representa uma alternativa para atender à crescente demanda por água, é necessário estudar o desempenho dos sistemas de irrigação com o uso de efluentes. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar um sistema de irrigação por gotejamento através da determinação dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD), de Christiansen (CUC) e estatístico (CUE). Os tratamentos foram constituídos de três tipos de água: (i) efluente de laticínio tratado por sistema anaeróbio (EAN); (ii) EAN, seguido por tratamento aeróbio (EA); (iii) água de abastecimento (AB), e por três lâminas de irrigação, 50% (W1), 100% (W2) e 150% (W3) da evapotranspiração da cultura da beterraba. Os efluentes foram caracterizados e classificados quanto ao potencial risco de entupimento dos emissores. Os resultados mostraram que as diferentes lâminas aplicadas não influenciaram nos coeficientes avaliados, mas estes foram reduzidos quando receberam os tratamentos com águas residuárias (EAN e EA). Contudo, todos os coeficientes de uniformidade determinados, para o período de condução do experimento, foram classificados como excelente, com valores superiores a 96%.

PALAVRAS-CHAVE: águas residuárias, gotejamento, uniformidade de aplicação

PERFORMANCE OF DRIP IRRIGATION SYSTEM USING TREATED DAIRY WASTEWATER

ABSTRACT: As the reuse of wastewater represents an alternative to meet the growing demand for water, it is necessary to study the performance of irrigation systems using treated effluent. Thus, the goal of this project was to evaluate a drip irrigation system by determining the following uniformity coefficients: Christiansen coefficient (CUC), Emission uniformity coefficient (CUD) and Statistical uniformity coefficient (CUE). The treatments consisted of three types of water: (i) dairy wastewater treated by anaerobic processes (EAN); (ii) EAN followed by aerobic treatment (EA); (iii) and freshwater (AB), at three irrigation depths: 50% (W1), 100% (W2) and 150% (W3) of estimated table beet evapotranspiration. All the effluents were analyzed and classified according their potential risk of clogging the emitters. The results showed that varying irrigation depths did not affect the uniformity coefficients,

but the use of wastewater (EA and EAN) resulted in reduced coefficients. However, all the uniformity coefficients obtained were classified as excellent by the literature, with values greater than 96%.

KEYWORDS: uniformity, emitters, wastewaters

INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial vem acompanhado por uma crescente demanda por água e por um aumento da poluição e contaminação dos mananciais, reduzindo assim a disponibilidade de água de para consumo humano. Dessa forma, o tratamento e o reuso de águas residuárias representam uma alternativa para atender essa crescente demanda e ainda auxiliar na conservação das limitadas fontes de águas distribuídas ao redor do planeta (U.S. EPA, 2004).

Considerando que a irrigação é uma atividade responsável por 72% do consumo de água no Brasil (ANA, 2012) diversas pesquisas têm sido realizadas para estudar os efeitos do uso de efluentes tratados na agricultura. Duarte (2006) e Azevedo & Oliveira (2005) obtiveram aumento de produtividade em culturas que foram irrigadas com efluentes, e Deon et al. (2010) observaram que o uso de efluente possibilitou reduzir a fertilização nitrogenada recomendada.

O sistema de irrigação por gotejamento, principal método utilizado no reuso agrícola, tem como limitação a ocorrência de entupimento dos emissores por contaminantes físicos, biológicos e químicos. Segundo Bucks et al. (1979) o entupimento físico ocorre devido a presença de partículas orgânicas e inorgânicas suspensas, o químico devido a sólidos dissolvidos que podem precipitar e formar incrustações, e o biológico devido a formação de biofilme através de atividade microbiológica.

A ocorrência de obstrução parcial ou total dos emissores reduz a uniformidade de distribuição de água e ainda pode causar excesso de irrigação sobre parte da produção, pois para garantir que todas as plantas tenham suas necessidades hídricas supridas é comum aumentar o volume de água utilizado. Segundo Capra & Scicolone (1998) isso afeta negativamente o produtor, pois além de um maior gasto com água e energia, há a possibilidade de perda de nutrientes por lixiviação.

Dessa forma, a avaliação do desempenho do sistema de irrigação é importante para determinação da eficiência e dos custos de operação. No caso da irrigação localizada, o desempenho pode ser avaliado através de medidas de uniformidade de aplicação de água, taxas de aplicação e pressão de serviço (AIROLDI, 2007). A uniformidade de aplicação é expressa através de coeficientes como o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), e quando estes possuem valores maiores ou iguais a certo valor, a uniformidade de distribuição é considerada aceitável. Bernardo (1995) considera que o limite mínimo de CUC aceitável em um sistema de irrigação por gotejamento é de 80%. Já o CUD é considerado excelente para valores superiores a 90% e bom para valores entre 80% e 90% (MERRIAM & KELLER, 1978).

Assim, o objetivo desse projeto consistiu em avaliar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluentes tratados provenientes de laticínio. Para isso foram utilizados efluentes provenientes de diferentes tratamentos e diferentes porcentagens de lâminas de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação de 210 m², localizada na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP) em Pirassununga-SP (latitude 21°59'S e longitude 47°26'O). O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 3 e com quatro repetições, totalizando 36 parcelas experimentais. As avaliações no tempo foram consideradas como sub-parcela. Os tratamentos foram constituídos de três tipos de águas (AB - Água de abastecimento, proveniente da rede de distribuição de água do *campus*; EAN - Efluente de laticínio tratado por sistema anaeróbio, sob batelada sequencial com biomassa imobilizada; EA - Efluente de laticínio tratado por reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com biomassa imobilizada) e de três lâminas de irrigação (50% da evapotranspiração da cultura (ETc); 100% da ETc; 150% da ETc).

O efluente utilizado foi proveniente da Estação Experimental de Tratamento de Efluentes do Laticínio Escola da FZEA. Antes de serem utilizados na irrigação, EAN e EA passaram por um filtro composto de uma camada de pedregulho tamanho sete e coberto por manta geotêxtil para remoção dos sólidos suspensos e em seguida passaram por desinfecção através de um sistema de lâmpadas de ultravioleta.

Os três tipos de águas utilizadas na irrigação foram caracterizados físico-química e microbiologicamente, com frequência quinzenal. A série de sólidos (sólidos totais-ST, sólidos suspensos totais-SST, sólidos dissolvidos totais-SDT), Ca⁺², Mg⁺², Mn, Fe Total, condutividade elétrica e pH, foram analisadas conforme APHA/AWWA/WEF (1999). As coletas e acondicionamento dos efluentes foram realizados seguindo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras de água (CETESB/ANA, 2011). Quanto às análises microbiológicas, a quantificação de *Escherichia coli* e coliformes totais foi realizada usando inoculação em placas com meio cromogênico Petrifilm® EC (3M®), Método Oficial AOAC n° 991.14 (CONSTANTINO, 2011). Já a contagem de bactérias heterotróficas foi realizada de acordo com Silva et al. (2007).

No experimento foi cultivada beterraba, Híbrido Cabernet, plantada em caixas de PVC de 500L, com espaçamento de 25 cm entre linhas e 15 cm entre plantas. Cada caixa representava uma parcela e possuía quatro linhas de plantas e duas linhas de irrigação. O período de avaliação do sistema de irrigação compreendeu dois ciclos de cultivo da beterraba, sendo o de primavera, com plantio das mudas em 16/09/2013 e colheita em 27/11/2013, e o de outono, com plantio em 30/04/2014 e colheita em 22/07/2014. No intervalo entre os dois ciclos foi realizado no mesmo local um experimento de mitigação de sódio do solo através do cultivo de milho. Dessa forma, entre o período de 03/01/2014 e 14/03/2014, o sistema de irrigação funcionou em todas as parcelas do delineamento experimental com água de abastecimento e com lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração da cultura do milho.

O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento superficial, com gotejadores modelo NaanTif 1625 (marca NaanDanJain), integrados, não-compensantes, com espaçamento de 0,20 m e vazão nominal de 2,4 L.h⁻¹ para pressão de serviço de 150 kPa. Cada parcela possuía duas linhas de gotejadores com 1m cada e espaçadas 0,30 m da outra. Cada tipo de água aplicado (AB, EAN, EA) foi bombeado individualmente por uma bomba centrífuga de rotor semi-aberto, acionada por painel controlador e foi separado para cada tratamento através de válvulas solenóides. No total, o sistema foi composto por três moto-bombas de acionamento elétrico, três painéis controladores, nove válvulas hidráulicas acionadas por solenóides e nove hidrômetros. Após cada bombeamento foi instalado um filtro de disco de 120 mesh.

O manejo da irrigação foi realizado através da evaporação de um tanque classe A reduzido, instalado no interior da casa de vegetação em um estrado de madeira de 0,15 m de altura. As leituras da lâmina evaporada foram realizadas três vezes por semana, e para

determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) foram utilizados o coeficiente de correção do tanque (Kp) proposto por Prados (1986) e o coeficiente da cultura (Kc) proposto por Marouelli, et al. (2008). A partir dos dados da ETc foi possível determinar as diferentes lâminas de irrigação aplicadas (50%, 100% e 150% da ETc), e que resultaram em diferentes tempos de funcionamento do sistema.

O desempenho do sistema de irrigação por gotejamento foi avaliado ao longo do tempo através das medições de pressão e vazão de operação. As tomadas de pressão foram realizadas por manômetros de glicerina no final de cada linha e a vazão foi medida pela relação de volume pelo tempo em cada um dos gotejadores do sistema.

Como o experimento compreendeu dois ciclos de cultivo da beterraba, foram realizadas duas avaliações do sistema de irrigação, a primeira no início do experimento (antes do plantio do primeiro ciclo) e a segunda após a colheita do segundo ciclo.

A partir dos valores de vazão obtidos foram determinados para cada avaliação e para cada tratamento os seguintes coeficientes de uniformidade: Coeficiente de uniformidade de distribuição de água - CUD (Keller & Karmelli, 1974) (Equação 1), Coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC (Christiansen, 1942) (Equação 2), Coeficiente de uniformidade estatístico - CUE (Bralts & Kesner, 1983) (Equação 3).

$$CUD = 100 \cdot \left(\frac{q_{25\%}}{q_m} \right) \quad (1)$$

em que,

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição de água, expresso em porcentagem;

$q_{25\%}$ - Vazão média dos 25% dos emissores com as menores vazões, L.h⁻¹, e

q_m - Vazão média dos emissores, L.h⁻¹.

$$CUC = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n \cdot q_m} \right) \quad (2)$$

em que,

CUC - Coeficiente de uniformidade de Christiansen, expresso em porcentagem;

q_i - Vazão de cada emissor, L.h⁻¹;

q_m - Vazão média dos emissores, L.h⁻¹, e

n - Número total de emissores.

$$CUE = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_q}{q_m} \right) \quad (3)$$

em que,

CUE - Coeficiente de uniformidade estatístico, expresso em porcentagem;

S_q - Desvio padrão da vazão dos emissores, L.h⁻¹, e

q_m - Vazão média dos emissores, L.h⁻¹.

Posteriormente, os coeficientes de uniformidade foram submetidos a análise de variância (Anova) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade pelo software SISVAR 5.3 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Muitos autores relacionam o entupimento dos emissores de sistemas localizados à qualidade da água utilizada na irrigação. Dessa forma, as tabelas 1, 2 e 3 apresentam, respectivamente, os resultados das análises química, física e microbiológica dos três tipos de água utilizadas no experimento e sua classificação segundo a literatura quanto ao potencial risco de entupimento de emissores de irrigação.

Analisando a Tabela 1 é possível notar que de acordo com a classificação proposta por Bucks et al. (1979), ambos efluentes (EAN e EA) apresentaram baixo risco de entupimento para os parâmetros ferro total e manganês, mas mostraram severo potencial de entupimento para o parâmetro pH. Quanto ao parâmetro condutividade elétrica, EA e EAN apresentaram risco moderado e severo, respectivamente. Já na classificação de Capra & Scicolone (1998), EA e EAN foram classificados com baixo potencial de entupimento para os parâmetros cálcio, ferro e manganês, e moderado potencial para magnésio e condutividade elétrica. A água de abastecimento (AB) apresentou baixo potencial de entupimento para todos os parâmetros, em ambas classificações. Liu & Huang (2009) estudaram o desempenho de gotejadores de fluxo laminar na presença de efluente de esgoto tratado, e obtiveram alto grau de entupimento devido principalmente ao elevado pH e a presença de sais dissolvidos, representado pela condutividade elétrica da água. Segundo Nakayama & Bucks (1991) em águas com pH acima de 7,0 pode haver a precipitação de carbonatos, fosfatos e hidróxidos.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros químicos para os três tipos de águas, no período de 30/04/2014 a 22/07/2014, total de seis coletas e classificação quanto ao risco de entupimento de emissores

Parâmetros	AB	EA	EAN	Bucks et al. (1979)			Capra & Scicolone (1998)		
				AB	EA	EAN	AB	EA	EAN
Ca ⁺² (mg/L)	6,85 ± 1,06	67,05 ± 17,46	54,41 ± 20,26	NC	NC	NC	B	B	B
Mg ⁺² (mg/L)	1,83 ± 0,27	65,83 ± 16,42	86,16 ± 7,22	NC	NC	NC	B	M	M
Fe Total (mg/L)	0,15 ± 0,00	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,02	B	B	B	B	B	B
Mn (mg/L)	0,006 ± 0,005	0,028 ± 0,019	0,029 ± 0,008	B	B	B	B	B	B
CE(dS m ⁻¹)	0,05 ± 0,02	2,69 ± 0,74	3,90 ± 1,04	B	M	S	B	M	M
pH	6,92 ± 0,18	8,26 ± 0,21	8,02 ± 0,31	B	S	S	NC	NC	NC

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; CE=condutividade elétrica; NC=não classificado; B=baixo potencial de entupimento; M=moderado potencial de entupimento; S=severo potencial de entupimento

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros físicos para os três tipos de águas, no período de 30/04/2014 a 22/07/2014, total de seis coletas e classificação quanto ao risco de entupimento de emissores

Parâmetros	AB	EA	EAN	Bucks et al. (1979)			Capra & Scicolone (1998)		
				AB	EA	EAN	AB	EA	EAN
ST (mg/L)	214,67 ± 126,97	1380 ± 451,68	1991,00 ± 746,65	NC	NC	NC	NC	NC	NC
SST (mg/L)	6,67 ± 7,76	8,67 ± 4,04	23,00 ± 21,38	B	B	B	B	B	B
SDT (mg/L)	208,67 ± 118,89	1372,00 ± 448,48	1968,00 ± 726,57	NC	NC	NC	NC	NC	NC

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; NC= não classificado; B= baixo potencial de entupimento; M=moderado potencial de entupimento; S=severo potencial de entupimento; ST=Sólidos totais; SST=Sólidos suspensos totais; SDT=Sólidos dissolvidos totais.

Em relação a análise física (Tabela 2), é possível notar que os maiores valores de sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) foram

encontrados no efluente anaeróbio (EAN), seguido pelo efluente aeróbio (EA), e pela água de abastecimento (AB). Contudo, tanto na classificação proposta por Bucks et al. (1979) como na classificação de Capra & Scicolone (1998), os valores de SST encontrados nos três tipos de água correspondem a baixo potencial de entupimento aos emissores. Os valores elevados de desvio padrão encontrados nos dados dos sólidos se devem a sazonalidade do efluente, que tem suas características modificadas de acordo com a produção do laticínio. Capra & Scicolone (2006) estudando esgoto tratado de diferentes formas chegaram à conclusão que o valor de sólidos suspensos totais igual a 50mg L^{-1} deve ser considerado um valor crítico, pois apenas águas residuárias que possuam valores de SST inferiores a esse podem manter a uniformidade de distribuição de um sistema de gotejamento superior a 85%. Gilbert et al. (1981) avaliando sistema de irrigação por gotejamento concluíram que fatores físicos, como a presença de partículas em suspensão representam a principal causa de redução de vazão e de entupimento de emissores.

Os resultados da análise microbiológica do efluente (Tabela 3) mostraram que de acordo com Bucks et al. (1979), apenas o EAN apresentou severo potencial de entupimento dos emissores devido à presença bactérias heterotróficas.

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros microbiológicos para os três tipos de águas, no período de 30/04/2014 a 22/07/2014, total de seis coletas e classificação quanto ao risco de entupimento de emissores

Parâmetros	AB	EA	EAN	Bucks et al. (1979)		
				AB	EA	EAN
Coliformes Totais (UFC/mL)	2,66E+01 ± 5,24E+01	7,61E+02 ± 1,70E+03	8,66E+01 ± 1,76E+02	B	B	B
Escherichia Coli (UFC/mL)	0,00E+00 ± 0,00E+00	0,00E+00 ± 0,00E+00	3,20E+00 ± 4,60E+00	B	B	B
Bactérias Heterotróficas (UFC/mL)	1,11E+03 ± 1,59E+03	8,91E+03 ± 1,23E+04	5,09E+04 ± 8,38E+04	B	B	S

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; B= baixo potencial de entupimento; M=moderado potencial de entupimento; S=severo potencial de entupimento; UFC/mL= Unidades formadoras de colônias por mililitro

Tabela 4. Tempo total de funcionamento do sistema de irrigação para cada tratamento, no período de 25/09/2013 a 22/07/2014.

	Tempo Total de Funcionamento (h)								
	AB			EA			EAN		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
Água	28,1	37,8	47,9	15,0	14,0	13,5	15,0	14,0	13,5
Efluente	-	-	-	11,2	19,8	28,6	10,9	19,3	27,7
Total	28,1	37,8	47,9	26,3	33,9	42,1	25,9	33,3	41,2

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; W1=lâmina 50% da evapotranspiração da cultura (ETc); W2 =100% da ETc; W3=150% da ETc.

As tabelas 4 e 5 mostram, respectivamente, o tempo total de funcionamento do sistema de irrigação e a lâmina total aplicada para cada tratamento. As horas contabilizadas com água nos tratamentos com efluente (EA e EAN) correspondem ao tempo de condução do experimento de mitigação de sódio do solo através do cultivo do milho. O tratamento ABW3 apresentou uma lâmina total e o tempo total de funcionamento superiores a lâmina W3 dos outros tratamentos devido a um problema com a programação do controlador durante o primeiro ciclo da beterraba. O tempo total de funcionamento do sistema de irrigação durante

todo o período do experimento não ultrapassou 50 horas. Batista et al. (2006) verificaram diminuição no desempenho dos gotejadores devido a utilização de irrigação com esgoto sanitário tratado após 560h de funcionamento. Liu & Huang (2009) também utilizando esgoto sanitário tratado observaram redução do CUD e CUC após 828h de funcionamento do sistema de irrigação por gotejamento

Tabela 5. Lâmina total aplicada pelo sistema de irrigação para cada tratamento, no período de 25/09/2013 a 22/07/2014.

	Lâmina Total Aplicada (mm)								
	AB			EA			EAN		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
Água	1114,8	1333,5	1601,5	855,8	796,0	725,0	844,8	814,3	778,8
Efluente	-	-	-	373,8	533,0	736,5	303,3	480,8	696,5
Total	1114,8	1333,5	1601,5	1229,5	1329,0	1461,5	1148,0	1295,0	1475,3

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio; W1=lâmina 50% da evapotranspiração da cultura (ETc); W2=100% da ETc; W3=150% da ETc

Na análise da vazão ao longo do tempo e para os tratamentos estudados foi observado interação tripla. Os tratamentos ABW1, ABW2, EAW1, EANW2 e EANW3 sofreram redução da vazão ao longo do tempo, contudo não foi identificado um padrão nessa redução. Considerando as duas avaliações, o valor médio da vazão e seu desvio padrão foram iguais a $2,38 \pm 0,04 \text{ L.h}^{-1}$, mantendo-se próximo ao valor nominal de $2,4 \text{ L h}^{-1}$ para 150 kPa de pressão.

Quanto a pressões medidas no final da linha de gotejadores, o valor médio obtido e seu desvio padrão foi de $111,38 \pm 7,20 \text{ kPa}$.

A tabela 6 apresenta os valores dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD), de Christiansen (CUC) e estatístico (CUE), determinados antes do plantio do primeiro ciclo (tempo 1) e após colheita do segundo ciclo da beterraba (tempo 2). A análise estatística mostrou que ao longo do tempo não houve interação entre os tratamentos lâmina e tipo de água, e dessa forma são apresentados os valores médios de cada coeficiente para cada tempo e para cada tipo de água. As diferentes lâminas utilizadas (50%, 100% e 150% da ETc) não apresentaram efeito significativo sobre os coeficientes.

Tabela 6. Valores médios do Coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD), Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) para avaliações realizadas antes do plantio do primeiro ciclo (tempo 1) e após colheita do segundo ciclo (tempo 2).

Tempo	CUD (%)	CUC (%)	CUE (%)
1	98,16 A	98,75 A	98,40 A
2	96,77 B	97,833 B	97,13 B
CV (%)	0,99	0,54	0,68
Tipo de Água	CUD (%)	CUC (%)	CUE (%)
AB	97,99 A	98,63 A	98,25 A
EA	97,18 B	98,07 B	97,43 B
EAN	97,23 B	98,17 B	97,62 B
CV (%)	1,54	0,9	1,28

AB=água de abastecimento; EA=efluente aeróbio; EAN=efluente anaeróbio;

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para sistema de irrigação localizada Mantovani (2001) classifica o CUC como excelente os valores entre 90 e 100%, bom os valores entre 80 e 90%, razoável os valores entre 70 e 80%, ruim os valores entre 60 e 70% e como inaceitável os valores inferiores a 60%. Quanto ao CUE, a ASAE (1998) utiliza a seguinte classificação: entre 100 e 95% é excelente, entre 90 e 85% é bom, entre 80 e 75% é razoável, entre 70 e 65% é ruim e menor que 60% é considerado inaceitável. Já o CUD é classificado como excelente para valores superiores a 90% e bom para valores entre 80% e 90% (MERRIAM & KELLER, 1978). Dessa forma, analisando a tabela 6 é possível notar que apesar de ter ocorrido uma redução dos valores dos coeficientes ao longo do tempo, CUC, CUE e CUD continuaram sendo classificados como excelente pela literatura. Isso indica que o uso do sistema de irrigação por gotejamento, no tempo de condução do experimento, não comprometeu a distribuição de água às plantas.

A aplicação de água residuária teve influência sobre a uniformidade do sistema de irrigação. A análise estatística mostrou que houve uma redução significativa do CUD, CUC e CUE para os tratamentos que receberam EA e EAN.

Thebaldi et al. (2013) estudando o desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com o uso de efluente proveniente de abate de bovino e tratado por lagoa facultativa, obteve para um tempo total de funcionamento do sistema de 55,47 h, valores de CUD, CUC e CUE iguais a 88,99 %, 94,49% e 92,10% respectivamente. Já Batista et al. (2013) utilizando gotejador com vazão nominal de 2 L.h⁻¹ e efluente tratado de suinocultura com 33 mg.L⁻¹ de SST e 1370 mg.L⁻¹ de SDT obteve após 40h de funcionamento do sistema de irrigação um CUD de 89,73%.

Puig-Bargués et al. (2005) utilizando águas residuárias tratadas por lodo ativado, filtradas com um filtro de tela, e com 10,6 mg.L⁻¹ de SST, observaram que após 750 h, 6,25% dos emissores estavam completamente obstruídos e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) era igual a 55%. Já para o mesmo efluente, mas que passou por um filtro de tela e por um tratamento terciário com filtros de areia, desinfecção com ultravioleta e injeção de cloro, e que possuía 5 mg.L⁻¹ de SST o CUD obtido foi superior a 85% após as mesmas 750h de funcionamento. Airoidi (2007) utilizando efluente doméstico tratado por processo anaeróbio e aeróbio, e filtrados por filtro de disco, obteve após 500 h de funcionamento do sistema de irrigação valor de coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) igual a 12,4% para emissores do tipo microtubo e CUE igual a 76,2% para gotejadores do tipo labirinto.

CONCLUSÕES

A caracterização física e microbiológica dos efluentes tratados de laticínio mostrou que para ambos (EA e EAN) há um baixo potencial de entupimento de emissores em relação a quantidade de sólidos (ST, SST, SDT) e a presença de *Escherichia coli* e coliformes totais. Já em relação a análise química, EA e EAN apresentaram potencial de entupimento para os parâmetros magnésio, condutividade elétrica e pH.

Após dois ciclos de cultivo da beterraba com água residuária, os coeficientes de uniformidade CUD, CUC, CUE sofreram uma pequena redução, entretanto continuaram sendo classificados como excelente pela literatura. Apesar das diferentes lâminas de irrigação aplicadas (50%, 100% e 150% da ETc) não terem influenciado nos valores dos coeficientes, estes foram reduzidos significativamente quando receberam os tratamentos com águas residuárias (EAN e EA).

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, processos 2012/19239-0 e 2013/12656-8

REFERÊNCIAS

- AIROLDI, R. P. S. Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento com água residuária. 2007. 139 p. Tese (Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) Standard methods for the examination for water and wastewater. 20.ed. Washington, 1999, 1220p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. 2012. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/Conjuntura2012.pdf> . Acesso em: 24/03/2013
- ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS) Standards - EP458. Field Evaluation of Microirrigation Systems (45th ed.) ASAE, St. Joseph, MI (1998)
- AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e na produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, v.25, n.1, p.253-263, 2005.
- BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C. Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo. Acta Scientiarum Technology, v.28, p.213-217, 2006.
- BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B.; OLIVEIRA, A. F. M. ; AZEVEDO, C. A. V.; MEDEIROS S. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.17, n.7, p.698–705, 2013.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657p.
- BRALTS, V.F.; KESNER, C.D. Drip irrigation field uniformity estimation. Transactions of the ASAE, v.26, p.1369-1374, 1983
- BUCKS, DA; NAKAYAMA, FS; GILBERT, RG. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. Agricultural Water Management, v. 2, p.149-162, 1979.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in trickle/drip irrigation systems. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 70, p. 355-365, 1998.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. Journal of Cleaner Production, v. xx, p. 1-6, 2006.
- CETESB/ANA – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo/Agencia Nacional de Águas. Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. 2011. Disponível em: http://tratamentodeagua.com.br/R10/Lib/Image/art_704673733_Guia_Nacional_de_Coleta_e_Preservacao_de_Amostras_.pdf. Acesso em: 20/04/2013
- CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. Berkley: University of California, 1942. 124 p.
- CONSTANTINO, C. A. Avaliação da técnica 3MTM Petrifilm™ para análises microbiológicas de água de consumo humano na região de Campinas. 2011. 93f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciências de Alimentos, Unicamp, Campinas, 2011
- DEON, M. D.; GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.10, p.1149-1156, 2010.

DUARTE, A. Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão. 2006. 188f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. 35:1039-1042, 2011.

GILBERT, R.G.; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH, O.F.; ADAMSON, K.C. Trickle irrigation: Emitter clogging and other flow problems. *Agricultural Water Management*, Volume 3, Issue 3, p. 159–178, 1981

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, v.17, p.678-684, 1974.

LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*, v.96, p. 45-756, 2009.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001

MAROUELLI, W. A; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. Brasília, DF: Embrapa informação tecnológica, 2º ed, 150p, 2008.

MERRIAM, J. L., KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation. *Irrig. Sci.*, v.12, p.187-192, 1991

PRADOS, N. C. Contribucion al estudio de los cultivos enarenados en Almeria: necesidades hídricas y extracion de los nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno. 1986. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Cajá Rural Provincial, Almeria, Espanha.

PUIG-BARGUES, J.; ARBAT, G.; BARRAGAN, J.; RAMIREZ DE CARTAGENA, F. Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.77, p.249-262, 2005.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. ; SILVEIRA, N. F. A. Manual de Métodos de Análise microbiológica de alimentos. 3. ed., São Paulo: Varela, 2007. 552p

THEBALDI, M. S.; ROCHA, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO A. B.; AVELINO NETO, S. Diferentes tipos de água e seu efeito na uniformidade de gotejadores na cultura de tomate. *Irriga*, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 212-222, 2013

U.S. EPA – U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for Water Reuse. 2004. Disponível em <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/30006MKD.pdf>. Acesso em: 15/05/2015