

EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO DOMÉSTICO NA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO¹

RAFAEL OLIVEIRA BATISTA^{2*}, FABRÍCIA GRATYELLI BEZERRA COSTA², HUMBELINA SILVA SIQUEIRA LOPES², DANIELA DA COSTA LEITE COELHO², MARIA REGILENE DE FREITAS COSTA PAIVA²

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi analisar a uniformidade de aplicação de efluente de três sistemas de irrigação abastecidos com diferentes características de esgoto doméstico do condomínio residencial Bosque Acamari, em Viçosa-MG. O experimento foi realizado em área de pesquisa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG. Montaram-se três sistemas de irrigação por gotejamento, abastecidos com esgoto doméstico preliminar (EDP), esgoto de tratamento secundário (EDS) e esgoto de tratamento terciário (EDT). Cada sistema de irrigação foi composto por filtro de discos e gotejadores não autocompensantes com vazão nominal de 1,7 L h⁻¹. A uniformidade de aplicação de efluente foi obtida a cada 100 h, totalizando 500 h de operação, com os Coeficientes de Uniformidade de Distribuição (CUD) e de Uniformidade Estatística (Us). Foram realizadas determinações físico-químicas e microbiológicas nos esgotos domésticos. Conclui-se que as características ferro total e coliformes totais representam risco severo de obstrução para gotejadores abastecidos com EDP, EDS e EDT, enquanto para as características manganês total, magnésio e cálcio tal risco é baixo. A formação de biofilme de sólidos suspensos e bactérias foi a principal causa de obstrução de gotejadores. Os valores de CUD e Us apresentaram, após 500 h de operação, redução de 61 e 54%; 27 e 24%; e 57 e 59%, respectivamente, para os sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT.

Palavras-chave: CUD e CVQ. Desempenho. Biofilme. Água residuária.

EFFECT OF CHARACTERISTICS OF DOMESTIC SEWAGE ON APPLICATION UNIFORMITY OF DRIP IRRIGATION SYSTEM

ABSTRACT - This paper aimed to analyze the application uniformity of three sets supplied with different characteristics of domestic sewage from condominium Bosque Acamari in Viçosa-MG. The experiment was accomplished in experimental area of the Federal University of Viçosa (UFV), Viçosa-MG. Three sets of drip irrigation were mounted and supplied with preliminary sewage (EDP), secondary sewage (EDS) and tertiary sewage (EDT). Each irrigation set consisted of filter discs and non selfcompensating emitters with nominal flow of 1.7 L h⁻¹. The application uniformity of effluent was obtained every 100 hours, totaling 500 hours of operation, with the coefficients Distribution Uniformity (CUD) and Statistics Uniformity (Us). Were accomplished physico-chemical and microbiological analysis in domestic sewage. Conclude that the characteristics of total iron and total coliforms give severe risk of obstruction to drippers supplied with EDP, EDS, EDT, while the characteristics for total manganese, magnesium and calcium such risk is low. Biofilm formation of suspended solids and bacteria was the main cause of clogging of emitters. The values of Us and CUD showed, after 500 hours of operation, reduction of 61% and 54, 27 and 24%, and 57 and 59%, respectively, for drip irrigation system operating with EDP, EDS and EDT.

Keywords: CUD and CVQ. Performance. Biofilm. Wastewater.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 27/12/2010; aceito em 15/05/2011.

Trabalho de pesquisa desenvolvido com apoio financeiro da FAPEMIG para a empresa INTEC Ambiental.

²Departamento de Ciência Ambientais e Tecnológicas, UFERSA, Caixa Postal 137, 59625-900, Mossoró – RN, Brasil; rafaelbatista@ufersa.edu.br; fabricia_gratyelli@hotmail.com; humbelinas@hotmail.com; danielacleite@yahoo.com.br; regilene_costa@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A utilização de esgoto doméstico na agricultura é uma alternativa para o controle da poluição do sistema água-solo-atmosfera, disponibilização de água e fertilizantes para as culturas e aumento da produção agrícola. Entretanto, para que isso possa se tornar uma prática viável, é preciso aperfeiçoar as técnicas de tratamento, aplicação e manejo de esgoto doméstico (MATOS, 2007).

O tipo de tratamento dos esgotos domésticos reflete diretamente na característica dos efluentes e, conseqüentemente, na sensibilidade ao entupimento dos gotejadores (YAMAMOTO et al., 2005; DEHGHANISANIJ et al., 2005; CAPRA; SCICOLONE, 2007). Segundo Puig-Bargués et al. (2005), esgoto doméstico terciário proporciona menos problemas de entupimento de gotejadores em relação ao esgoto doméstico secundário. Entretanto, os trabalhos apresentados por Medeiros (2005) indicaram que a aplicação de esgoto doméstico em condições anaeróbias minimiza o potencial de formação de biofilme no equipamento de irrigação.

A combinação dos agentes físicos, químicos e biológicos consiste na principal causa de obstrução de gotejadores utilizados na aplicação de esgotos domésticos (NAKAYAMA et al., 2006). Batista et al. (2009) observaram a formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens bacterianas e algas. As bactérias dos gêneros *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter* formaram um muco microbiano, no qual se aderiram partículas, principalmente de origem orgânica, representadas por células de algas vivas ou em decomposição. As algas predominantes pertenciam aos grupos Cyanophyta (gênero *Chlorococcus*), Euglenophyta (gêneros *Euglena* e *Phacus*) e Chlorophyta (gêneros *Selenastrum*, *Scenedesmus* e *Sphaerocystis*).

Um importante negativo impacto do entupimento de gotejadores consiste na aplicação não uniforme dos esgotos domésticos pelos sistemas de irrigação por gotejamento (CARARO et al., 2006; FRIGO et al., 2006). A avaliação da uniformidade de aplicação é uma atividade imprescindível para obter o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento (CUNHA et al., 2008).

Cararo et al. (2006) constataram redução de 5 a 28% nos valores de Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ) em 15 tipos de gotejadores testados com esgoto doméstico tratado durante 373 h. O efluente passou por filtros de areia (com tamanho efetivo de 0,59 mm), de discos (com aberturas de 100 μ m) e de tela (com aberturas de 80 μ m) em série, antes de ser aplicado pelos gotejadores. Para a aplicação de esgotos domésticos, os gotejadores devem apresentar tamanho de seção transversal superior a 1,0 mm (DEHGHANISANIJ et al., 2005).

Hills e El-Ebaby (1990) verificaram que o acúmulo de material orgânico dentro de gotejadores ocasionou redução de 48,3% no coeficiente de uniformidade (Us), após 1.000 h de funcionamento do sistema de irrigação. Capra e Scicolone (2004) estu-

daram o desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento dotados de quatro tipos de gotejadores, não-autocompensantes, com vazão nominal de 3,8 a 4,0 L h⁻¹ e abastecidos com esgoto doméstico tratado durante 60 h. Os referidos autores concluíram que os valores de CUD nos sistemas de irrigação oscilaram de 0 a 77%.

O objetivo deste trabalho foi analisar a uniformidade de aplicação de efluente em três sistemas de irrigação por gotejamento, abastecidos com esgotos domésticos submetidos aos tratamentos preliminar, secundário e terciário.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Unidade Piloto de Tratamento de Água Residuária e Agricultura Irrigada (UTAR) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais. Os ensaios experimentais foram realizados no período de janeiro a março de 2009.

A UTAR é constituída por uma estação elevatória e uma unidade de tratamento de esgoto doméstico, abastecida com esgoto proveniente do condomínio residencial Bosque Acamari. As diferentes características de esgoto doméstico foram obtidas com os sistemas: tratamento preliminar: dimensionado para uma vazão de esgoto doméstico de 2 L s⁻¹ sendo constituído de grade grosseira para retenção de material com granulometria entre 4 e 10 cm, desarenador para remoção de areia e caixa de gordura para a remoção de óleos e graxas; tratamento secundário: dimensionado para uma vazão de esgoto doméstico de 2 L s⁻¹ sendo composto por sistema de tratamento por escoamento superficial. Este é dotado de quatro planos de sistematização, cada um com três faixas de irrigação de 1 m de largura e 25 m de comprimento, com declividade de 2%, cultivadas com capim-tifton 85 (*Cynodon* spp.); tratamento terciário: dimensionado para uma vazão de 30 m³ d⁻¹ com tempo de detenção hidráulica de 10 dias, sendo composto por uma lagoa de maturação sob fluxo pistão com dimensões de 6,0 m na largura por 50,0 m no comprimento por 1,0 m na profundidade, totalizando um volume de 300 m³. Na Figura 1 constam os sistemas de tratamento de esgoto domésticos utilizados no presente trabalho.

Ao lado da lagoa de maturação da área experimental foram construídas bancadas experimentais dotadas de três sistemas de irrigação localizada, sendo uma abastecida com esgoto doméstico sob tratamento preliminar (EDP), uma com esgoto doméstico sob tratamento secundário (EDS) e uma com esgoto doméstico sob tratamento terciário (EDT), conforme apresentado na Figura 2.

Cada sistema de irrigação foi composta por um reservatório de 0,2 m³, para armazenamento dos esgotos domésticos, um conjunto motobomba de 1 cv, um filtro de discos de 120 mesh com capacidade de filtração de 8 m³ h⁻¹, uma válvula reguladora de

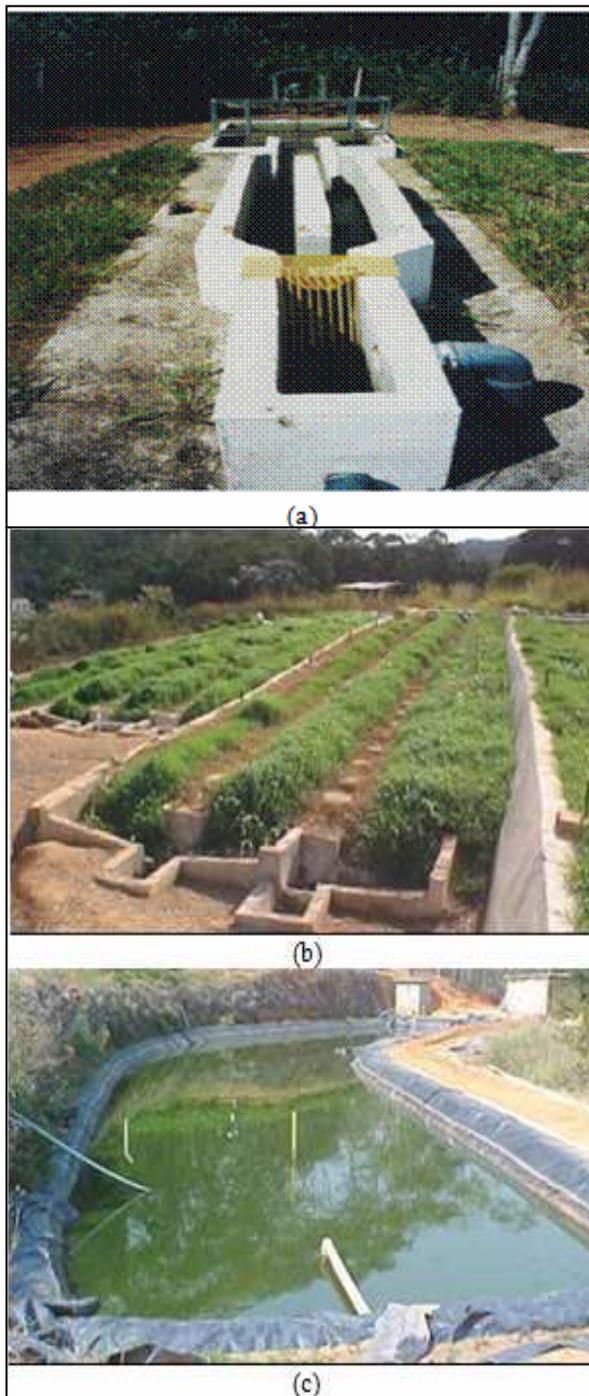


Figura 1. Tratamento preliminar (a), tratamento secundário (b) e tratamento terciário (c) do esgoto doméstico na Unidade Piloto de Tratamento de Água Residuária e Agricultura Irrigada (UTAR) do DEA/UFV, em Viçosa-MG.

pressão de 70 kPa, tubos de PVC com diâmetro nominal de 32 mm e seis linhas laterais com gotejador plano do modelo MG1.

Este modelo de gotejador apresentava as características técnicas: não-autocompensante, vazão nominal de 1,7 L h⁻¹, faixa de pressão de serviço de 40 a 100 kPa, espaçamento entre gotejadores de 0,50 m, comprimento do labirinto de 177 mm, largura interna do labirinto de 1,7 mm e um único filtro secundário por gotejador (Figura 2).



Figura 2. Bancadas experimentais dotadas de reservatórios com esgoto doméstico preliminar (EDP), esgoto doméstico secundário (EDS) e esgoto doméstico terciário (EDT), conjuntos motobomba, filtros de discos e válvulas reguladoras de pressão.

Na linha de derivação de cada sistema de irrigação foram inseridos três conectores, para a instalação de três linhas laterais com 12 m de comprimento. A jusante das válvulas reguladoras de pressão foram instaladas válvulas para monitoramento da pressão de serviço. Para tal, foram utilizados manômetros graduados de 0 a 400 kPa, com precisão de 50 kPa.

Os sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT foram montados sobre três bancadas experimentais, totalizando dimensões de 3,4 m de largura por 12,0 m de comprimento, com declividade transversal de 2%. Uma canaleta com 0,2 m de profundidade e declividade longitudinal de 1% foi construída ao longo da lateral mais baixa de cada bancada experimental, para coletar e retirar da bancada experimental o esgoto doméstico aplicado pelos gotejadores de cada sistema de irrigação.

Os três sistemas de irrigação operaram diariamente por oito h, aplicando-se esgoto doméstico, até completar o tempo de funcionamento de 500 h. A cada 100 h de operação realizou-se medição da vazão de todos os gotejadores de cada linha lateral determinada a partir do volume de efluente coletado em gotejador, durante três minutos. A vazão média de cada gotejador nos sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT foi de 1,52; 1,61; e 1,36 L h⁻¹, respectivamente, durante as 500 h de operação, para evidenciar que no trabalho foram ensaiados modelos de gotejadores com características intrínsecas distintas. Os dados de vazão foram interpretados pelo Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us) apresentados nas Equações 1 e 2.

$$CUD = \frac{Q_{rs \cdot 10}}{Q_m} \quad (1)$$

$$Us = (1 - CVQ) \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

Us = coeficiente de uniformidade estatísticas, %;

CVQ = coeficiente de variação da vazão dos gotejadores, %; $Q_{25\%}$ = valor médio dos 25% menores valores de vazões dos gotejadores, $L h^{-1}$; e

Q_m = vazão média dos gotejadores, $L h^{-1}$.

Durante o período de testes foram realizadas determinações físicas, químicas e microbiológicas nos esgotos domésticos, conforme as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2003). Os valores de temperatura (termômetro) e potencial hidrogeniônico (medidor portátil) foram medidos "in loco", enquanto as determinações de coliformes totais (teste comercial, autoanálise Colilert-AC, baseado na tecnologia dos substratos definidos), sólidos dissolvidos (método gravimétrico), sólidos suspensos (método gravimétrico), Demanda Bioquímica de Oxigênio- DBO_5^{20} (processo Winkler), ferro total (espectrofotômetro de absorção atômica), manganês total (espectrofotômetro de absorção atômica), magnésio (espectrofotômetro de absorção atômica) e cálcio (espectrofotômetro de absorção atômica) foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água (DEA/UFV), Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos (DPS/UFV) e Laboratório de Espectrofotometria Atômica (DPS/UFV). Tais características físico-químicas e microbiológicas são utilizadas para avaliação do risco de entupimento de gotejadores que operam com esgotos domésticos, conforme recomendações de Bucks et al. (1979), Capra e Scicolone (1998) e Capra e Scicolone (2004).

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tipos de esgotos domésticos (esgoto doméstico com tratamento preliminar - EDP; esgoto doméstico com tratamento secundário - EDS; e esgoto doméstico com tratamento terciário - EDT) e nas subparcelas os tempos das avaliações (0, 100, 200, 300, 400 e 500 h), no delineamento inteiramente casualizado com seis repetições.

Os dados de vazão foram submetidos a teste de Lilliefors a 1% de probabilidade e a análise de variância com 5% de probabilidade. O teste de Lilliefors foi utilizado em função da obtenção dos valores médios dos coeficientes Us e CUD, sendo nesta condição, utilizado em substituição ao teste de Kolmogorov-Smirnov para avaliação da normalidade.

Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, aplicando-se o teste t num nível de até 10% de significância, no coeficiente de determinação. Para análise estatística dos dados de vazão, utilizou-se o programa computacional Sistema para Análises Estatísticas (SAEG versão 9.1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 contém os resultados das características físico-químicas e microbiológicas de amostras de esgoto doméstico preliminar (EDP), esgoto doméstico secundário (EDS) e esgoto doméstico terciário (EDT), coletadas no período de janeiro a março de 2009 em Viçosa-MG. De acordo com a Tabela 2, constatou-se que Bucks et al. (1979) e Capra e Scicolone (1998) estabeleceram critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores com base nas características físico-químicas e microbiológicas da água de abastecimento de sistemas de irrigação localizada.

Estabelecendo comparação entre os valores das Tabelas 1 e 2, verificou-se que as características ferro total e coliformes total representam risco severo de entupimento de gotejadores que operam com EDP, EDS e EDT. Entretanto, em relação à característica sólidos suspensos notou-se que o risco de entupimento de gotejadores foi baixo para EDS e severo para o EDP e EDT. Segundo Capra e Scicolone (2007), partículas maiores que 1/4 e 1/10 do diâmetro da passagem do escoamento de efluente no gotejador representam risco potencial de entupimento quando se utiliza esgoto doméstico tratado contendo até $50 mg L^{-1}$ e de 100 a $150 mg L^{-1}$ de sólidos suspensos, respectivamente.

Para a característica pH o risco de entupimento de gotejadores foi severo para EDS e EDT e moderado para EDP. Tal fato foi atribuído ao aumento do pH em EDS pelo carreamento de sais, enquanto, que em EDT, durante o dia, ocorre supersaturação de oxigênio dissolvido pela fotossíntese das algas, aumentando o valor de pH. A característica sólidos dissolvidos representou risco de entupimento moderado para EDP e baixo para EDS e EDT. Para as características magnésio e cálcio o risco de entupimento de gotejadores foi baixo para EDP, EDS e EDT. Já o manganês total não representa risco de obstrução para gotejadores, pelo fato de não ter sido constatado.

Constatou-se que a temperatura média dos efluentes no período de janeiro a março de 2009 em Viçosa-MG foi de $26,0 ^\circ C$. Segundo Pizarro Cabello (1990), a temperatura, a matéria orgânica solúvel e o pH são fatores que influenciam tanto o crescimento das populações bacterianas, quanto o desenvolvimento de mucilagens. O referido autor afirma ainda que as temperaturas compreendidas entre $20,0$ e $30,0 ^\circ C$ favorecem a formação de muco microbiano, que podem desenvolver-se também sob baixas temperaturas.

As médias dos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5^{20}) dos efluentes EDP, EDS e EDT foram superiores ao valor limite de $25 mg L^{-1}$ apresentado por Capra e Scicolone (2004). Tais autores notaram que concentrações de DBO_5^{20} superiores a $25 mg L^{-1}$ acarretaram redução na vazão dos gotejadores, e conseqüentemente, não possibilitaram uniformidade ótima de aplicação de efluente nos sistemas de aplicação.

Na Figura 3 consta a variação nos valores dos coeficientes uniformidade de aplicação de efluente

Tabela 1. Caracterização física, química e microbiológica de amostras de esgoto doméstico preliminar (EDP), esgoto doméstico secundário (EDS) e esgoto doméstico terciário (EDT), coletadas no período de janeiro a março de 2009 em Viçosa-MG.

Amostras	Temp.	pH	CT	DBO ₅ ²⁰	SD	SS	Fe	Mn	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	°C		NMP 100mL ⁻¹	-----mg L ⁻¹ -----			---mmol _c L ⁻¹ ---			
EDP	26,0	7,2	1,3x10 ⁸	165,4	536,0	192,0	2,3	0,0	0,54	1,93
EDS	26,0	8,3	2,3x10 ⁷	40,9	241,0	27,0	2,7	0,0	0,05	0,38
EDT	26,0	8,8	1,6x10 ⁵	30,9	137,0	101,0	1,7	0,0	0,23	0,97

Nota: Temp. - temperatura dos efluentes; pH - potencial hidrogeniônico; CT - coliformes totais; NMP - número mais provável; DBO₅²⁰ - Demanda Bioquímica de Oxigênio à 20°C após 5 dias de incubação; SD - sólidos dissolvidos; SS - sólidos suspensos; Fe - ferro total; Mn - manganês total; Mg²⁺ - magnésio; e Ca²⁺ - cálcio.

Tabela 2. Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada.

Tipo de problema	Risco de entupimento					
	Menor		Moderado		Severo	
	a	b	a	b	a	b
Físico						
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	< 50		50 - 100		> 100	
Químico						
pH	< 7,0		7,0 - 7,5		> 7,5	
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	< 500		500 - 2.000		> 2.000	
Manganês total (mg L ⁻¹)	< 0,1		0,1 - 1,5		> 1,5	
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,2		0,2 - 1,5		> 1,5	
Sulfeto de hidrogênio (mg L ⁻¹)	< 0,2		0,2 - 2,0		> 2,0	
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)		< 12,5		12,5 - 22,5		> 22,5
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)		< 2,0		2,0 - 7,3		> 7,3
Biológico						
População bacteriana (UFC mL ⁻¹)	< 10.000		10.000 - 50.000		> 50.000	

Nota: (a) Segundo Bucks et al. (1979) e (b) De acordo com Capra e Scicolone (1998); e UFC – unidades formadoras de colônias.

CUD e Us, ao longo do período experimental, dos sistemas de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico preliminar (EDP), esgoto doméstico secundário (EDS) e esgoto doméstico terciário (EDT).

Observou-se, na Figura 3, que as três características de esgoto doméstico (EDP, EDS e EDT) proporcionaram redução nos valores de CUD e Us dos sistemas de irrigação ensaiados. No entanto, os níveis de entupimento foram mais elevados nos sistemas de irrigação abastecidos com EDP e EDT, provavelmente devido à maior concentração de sólidos suspensos nestes em relação EDS.

Os resultados apresentados na Figura 3 corroboram com os obtidos por Capra e Scicolone (2004; 2007). Os referidos autores notaram que esgoto doméstico secundário com concentrações de sólidos suspensos superiores a 78 mg L⁻¹ não possibilitou uniformidade ótima de aplicação de efluente nas unidades de fertirrigação e que esgoto doméstico terciário com concentração de sólidos suspensos

inferior a 50 mg L⁻¹ proporcionou mais entupimento nos gotejadores de menor vazão nominal.

Os valores iniciais de CUD e Us dos sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT foram de 98,27; 97,30; e 96,57% e 98,44; 97,62; e 97,03%, respectivamente. Tais valores de uniformidade de aplicação de efluente são classificados como excelentes por Merriam e Keller (1978) e ASAE Standards (2001). Estabelecendo comparações entre os tempos de operação de 0 e 500 h, verificou-se que houve redução drástica nos valores de CUD e Us dos sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT.

As reduções nos valores de CUD e Us foram de 61 e 54%; 27 e 24%; e 57 e 59% para os sistemas de irrigação de operaram com EDP, EDS e EDT, respectivamente. Tais valores corroboram com Batista et al. (2009) que utilizaram sistemas de irrigação por gotejamento, dotados de fitas gotejadoras com vazão nominal de 1,0 L h⁻¹, para aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro

tratada em filtro orgânico. Notaram drástica redução do CUD, que passou de 94 para 0% com 144 h de operação.

Observou-se que a classificação dos valores de CUD, após 500 h de operação dos conjuntos de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT, passou de excelente para ruim conforme os critérios estabelecidos por Merriam e Keller (1978).

Os referidos autores apresentaram como critério geral para interpretação dos valores de CUD de sistemas de irrigação localizada que estejam em operação por um ou mais anos: maior que 90%, excelente; entre 80 e 90%, bom; 70 e 80%, regular; e menor que 70%, ruim. Para a classificação dos valores de U_s , notou-se que decorrido o período de 500 h de operação dos sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT, os valores passaram de excelente para ruim e inaceitável, com base nos critérios da ASAE Standards (2001). Esta normatização estabelece o critério para avaliação dos valores de U_s : maior que 95%, excelente; entre 90 e 85%, boa; 80 e

75%, razoável; 70 e 65%, ruim; e menor que 60%, inaceitável.

Decorrido o tempo de operação de 500 h, procedeu-se à retirada de amostras dos gotejadores dos três sistemas de irrigação, para análise do material causador de entupimento. Nessas amostras, identificou-se uma biomassa, preenchendo tanto os labirintos quanto as pequenas aberturas dos filtros secundários dos gotejadores. A acumulação do biofilme nos gotejadores acarretou redução da vazão, devido à combinação de dois efeitos, o primeiro com relação à diminuição da área de secção de escoamento dos labirintos, e o segundo refere-se à formação de biofilme sobre o filtro secundário de cada gotejador, dificultando a entrada do esgoto doméstico pelas pequenas aberturas. O material de obstrução resultou da interação entre bactérias e sólidos suspensos presentes em EDP, EDS e EDT. Inicialmente, as bactérias aderiram as paredes dos emissores, a partir daí o nível populacional aumenta significativamente com o fornecimento de nutrientes presente nos esgo-

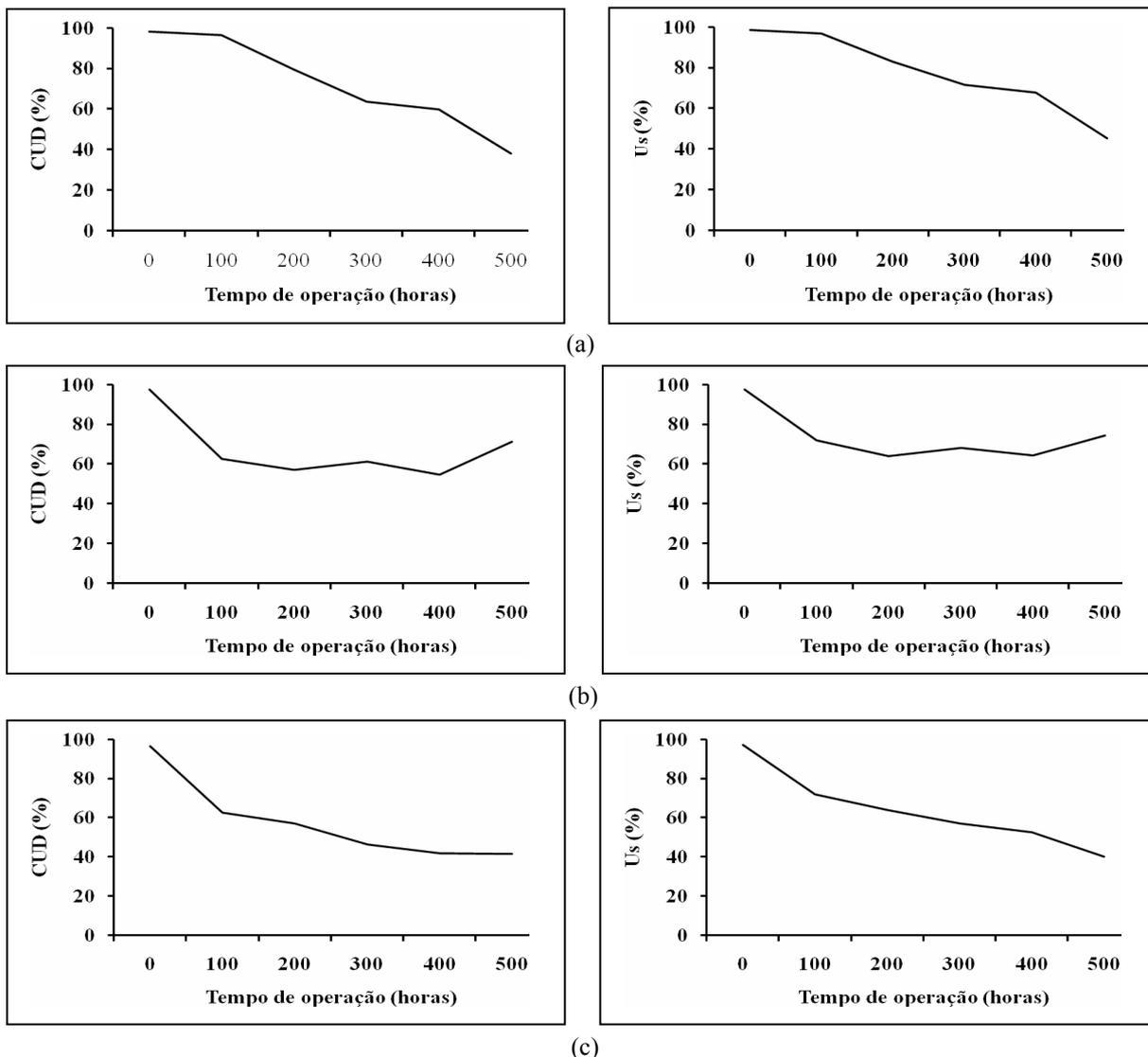


Figura 3. Variação dos valores de coeficientes de uniformidade CUD e U_s , em função dos tempos de operação para aplicação de EDP (a), EDS (b) e EDT (c).

Tabela 3. Análise de variância dos valores de CUD e Us dos sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT e respectivos coeficientes de variação.

Fontes de variação	Graus de liberdade	CUD		Us	
		Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Tipo de esgoto doméstico	2	2108,77	8,13**	1705,07	13,50**
Resíduo (a)	15	259,49		126,31	
Tempo de operação	5	5679,89	58,92**	4443,74	89,28**
Tempo de operação x tipo de esgoto doméstico	10	852,54	8,84**	603,03	12,12**
Resíduo (b)	75	96,40		49,77	
Total	107				
CVparcela (%)		24,45		15,74	
CVsubparcela (%)		14,92		9,88	

** = F significativo a 1% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas ao Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us) em função do tempo de operação (T), para os tipos de esgotos domésticos e os respectivos coeficientes de determinação.

Tipo de esgotos doméstico	Equações de regressão	R ²
EDP	$CUD = 103,152 - 0,122^{**}T$	0,96
EDS	$CUD = 93,091 - 0,268^{**}T + 0,000451^{**}T^2$	0,87
EDT	$CUD = 82,518 - 0,0999^{**}T$	0,80
EDP	$Us = 103,162 - 0,104^{**}T$	0,94
EDS	$Us = 94,607 - 0,211^{**}T + 0,000346^{**}T^2$	0,90
EDT	$Us = 88,726 - 0,0999^{**}T$	0,92

** = significativos a 1% de probabilidade pelo teste t; * = significativos a 5% de probabilidade pelo teste t.

tos domésticos. Alguns gêneros de bactérias produzem substâncias gelatinosas, enquanto outras desenvolvem tentáculos; tais situações permitem a captura de sólidos presentes no meio líquido e, com isso, a quantidade de biofilme no interior do equipamento aumenta, ao longo do tempo.

Por meio do teste de Lilliefors a 1% de probabilidade, constatou-se que os dados de Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e de Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us) seguem a distribuição normal, e um resumo da análise de variância dos valores de CUD e Us são apresentados na Tabela 3.

Verificou-se que a interação tempo de operação x tipo esgoto doméstico foi significativa a 1% de probabilidade. O valor do coeficiente de variação das variáveis CUD e Us na subparcela foi de 14,92 e 9,88%, respectivamente, indicando ótima precisão dos dados obtidos durante o período experimental.

Em vista dos resultados das análises de variância, realizou-se o desdobramento da interação tem-

po de operação x tipo esgoto doméstico. As equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados de CUD e Us em função dos tempos de operação, em cada tipo de esgoto doméstico, são apresentadas na Tabela 4.

A equação de regressão linear foi a que melhor se ajustou aos dados CUD e Us dos sistemas de irrigação abastecidos com EDP e EDT com coeficientes de determinação de 0,96 e 0,91; e 0,94 e 0,92, respectivamente. Enquanto a equação de regressão quadrática foi a que melhor se ajustou aos dados de CUD e Us dos sistemas de irrigação abastecidos com EDS apresentando coeficientes de determinação de 0,87 e 0,90. Estes resultados corroboram com os obtidos por Batista et al. (2008) e Batista et al. (2009) que verificaram em ensaios com esgoto doméstico terciário que modelo de regressão linear foi o que melhor se ajustou a variação de Us e CUD dos sistemas de irrigação, ao longo de um tempo de operação de 560 h. Os valores de R², obtidos pelos referidos autores, oscilaram de 0,87 a 0,95 para sistemas

de irrigação de gotejador dotados de vazão nominal de 1,7 a 2,1 L h⁻¹.

CONCLUSÕES

As características dos esgotos domésticos EDP, EDS e EDT representam risco severo de entupimento para gotejadores em relação às características ferro total e coliformes totais. Enquanto, para as características manganês total, cálcio e fósforo este risco de obstrução é baixo;

A formação de biofilme resultante da interação entre sólidos suspensos e bactérias é a principal causa de obstrução de gotejadores nos sistemas de irrigação;

Há redução acentuada da uniformidade de aplicação de esgoto doméstico nos sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT. No entanto, tais reduções são maiores nos sistemas de irrigação que operam com EDP e EDT em função da maior concentração de sólidos suspensos;

Os valores de CUD e Us apresentam, após 500 h de operação, redução de 61 e 54%; 27 e 24%; e 57 e 59%, respectivamente, para os sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT.

REFERÊNCIAS

- APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2003. 3118 p.
- ASAE EP 458. **Field evaluation of microirrigation systems**. ASAE Standards, St. Joseph, p. 792-797, 2001.
- BATISTA, R. O. et al. Taponamiento de goteros y del filtro de discos con agua residual sanitaria de una laguna de maduración. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, v. 62, n. 1, p. 4957-4966, 2009.
- BATISTA, R. O. et al. Modelos empíricos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v. 16, n. 3, p. 369-377, 2008.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 16, p. 1529-1534, 2007.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 68, n. 2, p. 135-149, 2004.
- CARARO, D. C. et al. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.
- CUNHA, F. F. et al. Manejo da micro-irrigação baseada em avaliação de sistema na cultura do meloeiro. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 147-155, 2008.
- DEHGHANISANI, H. et al. The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and the performance of drip irrigation. *Transaction of the ASAE*, v. 48, n. 2, p. 519-527, 2005.
- FRIGO, E. P. et al. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. *Irriga*, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 305-318, 2006.
- HILLS, D. J.; EL-EBABY, F. G. Evaluation of microirrigation self-cleaning emitters. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 6, n. 4, p. 441-445, 1990.
- MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. 142 p. (Caderno Didático, 38).
- MEDEIROS, S. S. **Alterações física e químicas do solo e estado nutricional do cafeeiro em resposta à fertirrigação com água residuária de origem doméstica**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.
- NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Ed.). **Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management**. Amsterdam: Elsevier, 2006. cap. 11, p. 389-430.
- PUIG-BARGUÉS, J. et al. Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. *Agricultural Water Management*, v. 77, n. 1-3, p. 249-262, 2005.
- YAMAMOTO, T. et al. Preventing biochemical clogging of filters and emitters in microirrigation systems. *ASAE Annual International Meeting*, 2005. (Paper n. 052241).