

DESEMPENHO HIDRÁULICO DE GOTEJADORES SOB O TEMPO DE EXPOSIÇÃO AO ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO¹

CLEY ANDERSON SILVA DE FREITAS^{2*}, LAURA KETYLLA AGUIAR NOGUEIRA², LUIS CLENIO JARIO MOREIRA³, CLEMILTON DA SILVA FERREIRA²

RESUMO - O uso do esgoto doméstico tratado na produção agrícola tem sido intensificado nos projetos de pesquisas devido suas qualidades nutricionais disponíveis às plantas. Contudo, estudar os desafios que essa fonte hídrica pode provocar no sistema de irrigação localizado é primordial para a sustentabilidade da produção. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo analisar o desempenho hidráulico de gotejadores modelo Katif sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico. Com o sistema de avaliação do desempenho hidráulico montado em uma bancada foi realizado dois experimentos em delineamento inteiramente casualizado (DIC). No primeiro experimento os tratamentos foram três pressões (kPa) fornecidas ao sistema e no segundo os tratamentos foram constituídos pelo tempo de funcionamento em intervalo de 60 h (compondo sete intervalos) com 28 gotejadores como repetições. O desempenho do sistema foi avaliado para cada tratamento pelo Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). Não houve significância a 5% para as diferentes pressões, mas a 1% para os diferentes tempos. Quando o CUD e CUC baixaram para 60 e 70%, respectivamente, foi realizada uma limpeza com hipoclorito de sódio. O sistema apresentou uniformidade aceitável nas primeiras 120 h de funcionamento, não havendo necessidade de limpeza. De acordo com os coeficientes avaliados, a limpeza deve ocorrer antes das 180 h. No entanto, sugere-se que para manter boa uniformidade o procedimento deve ser feito a cada 60 h.

Palavras-chave: Reuso de água. Uniformidade. Gotejamento.

THE HYDRAULIC PERFORMANCE OF EMITTERS UNDER TIME EXPOSURE OF DRIPPERS IN THE DOMESTIC SEWAGE.

ABSTRACT - The treated domestic wastewater use in agricultural production has increased in research projects, because providing nutritional qualities available to the plants. However, studying the challenges that this water source can cause to the this irrigation system located, is an important result to the sustainability of production. The current study has to evaluate the hydraulic performance of emitters under time exposure of drippers in the domestic sewage. With the performance evaluation system hydraulic prepared on a bench was carried out two experiments in a completely randomized design (CRD). In the first experiment, the treatments were three pressures (kPa) supplied to the system and in the second the treatments were made by operating time in interval of 60 h (composing seven intervals) with 28 drippers as repetitions. The system performance was evaluated for each treatment by the coefficient of distribution uniformity (CUD) and Christiansen's uniformity coefficient (CUC). There was no statistical significance was set at a 5% for the different pressures, but there will be 1% for different times. When the CUD and CUC fell to 60 and 70 %, respectively, was cleaned with sodium hypochlorite. The system showed uniformity acceptable in the first 120 hours of operation with no need for cleaning. According to the coefficients evaluated this cleaning must occur before the 180 h, however, suggests that to maintain good uniformity this procedure should be done every 60 h.

Keywords: Water reuse. Uniformity. Drip.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 25/02/2014, aceito em 14/10/2014.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFCE, 52320-000, Tianguá-CE, cleyanderson@ifce.edu.br, lauraketylla@hotmail.com, clemil@ifce.edu.br.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFCE, 62930-000, Limoeiro do Norte-CE, cleniojario@gmail.com.

INTRODUÇÃO

O uso excessivo de água na produção agrícola tem despertado a atenção da sociedade, a qual cobra do poder público uma resposta pela busca da sustentabilidade no sistema produtivo. Uma das alternativas pode ser a utilização de efluentes do esgoto doméstico tratado como fonte hídrica para irrigação (PLETSCH et al., 2009). Essa possibilidade permite o aumento da oferta de água para o consumo humano, evitando o lançamento desse material nas fontes naturais de abastecimento e podendo substituir parcialmente os fertilizantes comerciais (FREITAS et al., 2012). Contudo, o uso da fonte hídrica na irrigação deve ser cautelosa, evitando o contato do esgoto tratado com o irrigante, obrigando necessariamente a utilização do sistema de irrigação por gotejamento, já que neste sistema a água é aplicada de forma pontual e não aspergida.

Para Silva et al. (2012), o maior desafio para o uso do sistema de gotejamento com águas de baixa qualidade é manter a excelente uniformidade de distribuição do sistema. A utilização contínua do esgoto doméstico tratado na irrigação promove perdas no desempenho hidráulico dos gotejadores. Vários pesquisadores têm constatado uma redução na uniformidade do sistema devido às obstruções de origem biológica nos emissores (RESENDE et al., 2001, PUIG-BARGUÉZ et al., 2005, BATISTA et al., 2006^a e PLETSCH et al., 2009). Essas obstruções ocorrem por causa da ação de colônias de bactérias e algas que formam uma mucilagem, também conhecida como biofilme, tendo implicações no entupimento parcial e/ou total dos emissores, reduzindo a vazão (BATISTA et al. 2006b; BATISTA; SOUZA; FERREIRA, 2010).

Silva et al. (2012) constataram que após 48 h de funcionamento os emissores autocompensantes não apresentaram diferenças no desempenho hidráulico. Para eles, a membrana reguladora de vazão foi eficiente durante o período em que se realizou a pesquisa, corroborando com Pletschet al. (2009), que também não constataram diferenças no comportamento hidráulico dos gotejadores até as 1000 h de funcionamento.

Batista et al. (2011) afirmaram que os atributos físicos e químicos do esgoto influenciam diretamente o tempo de obstrução dos emissores, fato evidente ao observar os trabalhos de Batista et al. (2006b), que obtiveram CUC superior a 90% com 120 h de funcionamento, e Silva et al. (2012), obtendo CUC variando de 45,7 a 88,3% com apenas 48 h

de aplicação da água de resíduo. Outros coeficientes de avaliação para irrigação localizada têm sido usados recentemente e podem ser considerados, como é o caso do Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), o Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH) e a Eficiência de Aplicação (Ea) (Silva et al., 2014).

Para Souza et al. (2006), o dimensionamento hidráulico e a pressão de serviço recomendada pelo fabricante também interferem diretamente na uniformidade de aplicação. Silva et al. (2012), testando a eficiência de gotejadores autocompensantes katif com várias pressões de serviço, constataram que sob pressão entre 100 e 200 kPa a uniformidade do sistema foi classificada como excelente. Já acima destas (250 kPa) a classificação da uniformidade diminuiu para bom.

Souza et al. (2006), ao avaliarem a uniformidade de sistemas de irrigação por gotejamento de cafeicultores em Minas Gerais constataram que limpezas periódicas nos gotejadores e nas linhas laterais, bem como a reposição dos emissores entupidos ou danificados mantêm a uniformidade acima de 80%. Segundo Teixeira et al. (2008), a manutenção preventiva é a melhor solução para reduzir os problemas de obstrução.

A avaliação da uniformidade de aplicação na irrigação por gotejamento é imprescindível para a tomada de decisão, devendo-se realizar a limpeza ou até mesmo a substituição do mesmo. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho hidráulico de gotejadores autocompensantes, modelo Katif, sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico, fazendo a desobstrução quando necessário.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Química do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Ceará – IFCE, *Campus* avançado de Tianguá, onde foi projetada e montada uma bancada para avaliação de uniformidade de gotejadores. O esgoto doméstico tratado sob sistema de lagoas de estabilização, composto por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação, foi oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto de Tianguá (ETE), pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), com principais características químicas/biológicas mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Características do esgoto doméstico tratado da ETE de Tianguá (CE).

pH	CEa (dScm ⁻¹)	Na	Ca	Mg	K	Cl	NH ₄	P	ST	DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	DQO
7,8	0,73	53,7	45,4	28	26,2	92,5	7,7	12,8	521	36,7	111,8

Fonte: Laboratório de Química do IFCE, *Campus* Juazeiro do Norte.

O sistema de avaliação do desempenho hidráulico dos gotejadores foi constituído por moto-bomba 3cv, filtro de disco 2mesh, manômetro de glicerina, 4 linhas laterais com 7 gotejadores, totalizando 28 gotejadores (Figura 1). Foram utilizados gotejadores tipo autocompensantes, da marca Plastro

Brasil, modelo Katif, com vazão de $3,75 \text{ L h}^{-1}$ a uma pressão de serviço de 100 kPa. Para regular a pressão de trabalho, de acordo com recomendação do fabricante, foi instalado um registro de gaveta antes do filtro para retorno do esgoto doméstico tratado.



Figura 1. Bancada de avaliação de uniformidade (A), por tempo predeterminado (B), coleta das amostras (C) e medição do volume coletado (D).

Com o sistema de avaliação montado, foram desenvolvidos dois experimentos considerando o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). Para testar inicialmente a eficiência dos gotejadores autocompensantes submetidos à irrigação com esgoto doméstico tratado, o primeiro experimento foi constituído por três pressões de serviços (tratamentos) P1 = 100 kPa (recomendado pelo fabricante), P2 = 150 kPa e P3 = 200 kPa e 28 gotejadores (repetições).

No segundo experimento foi testada a uniformidade do sistema de irrigação a uma pressão constante de 100 kPa em função do tempo de funcionamento. Nesse experimento, os tratamentos foram constituídos pelos tempos T0 = 0 h (sistema sem uso), T2 = 60 h, T3 = 120 h, T4 = 180 h, T5 = 180hl (sistema submetido à limpeza após 180 h de funcionamento), T6 = 240 h, T7 = 240hl (sistema submetido à limpeza após 240 h de funcionamento) e os 28 gotejadores como repetições. O tratamento T0 foi considerado o testemunha e os tratamentos 180 hl e 240 hl os tratamentos adicionais. Contudo, quando observado que o CUC se encontrava entre 60 e 70%, classificado como ruim por Mantovani(2002). Foram realizadas limpezas do sistema com hipoclorito a 10% e em seguida testado novamente a uniformidade, de modo a garantir o funcionamento com valores de CUC superiores aos supracitados. Como no presente trabalho o CUC foi classificado como ruim aos

180 e 240 horas de exposição, nesse período foi feito limpeza do sistema e o mesmo analisado antes e após a desobstrução.

Foram avaliadas as vazões por triplice amostragem de todos os 28 gotejadores das linhas nos dois experimentos, sendo utilizada a média das três medições. De posse dos valores, foram calculados o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (Bernardo, 1995), equações 01 e 02, respectivamente.

$$CUD = 100 \left(\frac{\bar{X}_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad 01$$

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) \quad 02$$

Sendo:

X_i = vazão de cada emissor, em L h^{-1} ;

\bar{X} = vazão média dos emissores, em L h^{-1} ;

$\bar{X}_{25\%}$ = vazão média dos 25% menores vazões em L h^{-1} ;

n = número de emissores observados.

Para a limpeza do sistema foi aplicada uma calda utilizando o hipoclorito na concentração de 25 mg L^{-1} de cloro, com pH na faixa de 5,5 a 6,0 por 1

h. Nesse momento houve a substituição do esgoto doméstico por água de abastecimento. Terminada a aplicação, o sistema foi imediatamente desligado e deixado em repouso por aproximadamente 12 horas, momento em que foi dada a abertura dos finais de linha e ligado o sistema novamente para realizar a lavagem das linhas laterais.

As médias de vazões foram submetidas à análise de variância pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade, e verificado o efeito significativo dos dados obtidos nos diferentes tratamentos usando o teste de

Tukeyao, nível de 1 e 5% de probabilidade, utilizando-se para isso os *softwares* ASSISTAT 7.6 Beta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, consta o resumo da análise de variâncias para os dados de vazão dos gotejadores autocompensantes. Pelos resultados apresentados, verificou-se que não houve efeito significativo das pressões na vazão dos gotejadores.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os dados de vazão dos gotejadores autocompensantes sob três pressões de serviço (A). Tianguá (CE), 2012.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamento (A)	2	0,46	0,23	1,29 ^{ns}
Resíduo	81	14,49	0,18	
Total	83	14,96		

** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; e ^{ns} = não significativo.

Foi constatado efeito significativo do aumento da vazão dos gotejadores em função do aumento da pressão de serviço (Tabela 3). Os resultados estão de acordo com os apresentados por Silva et al. (2012), os quais observaram que pressões mantidas entre 100 e 200 kPa à uniformidade do sistema foi considerada como excelente. Já acima destas (250

kPa) a classificação da uniformidade diminuiu para boa. Esta proximidade com o presente trabalho revela que o efeito não significativo da vazão sob o aumento da pressão se deve provavelmente a pressão limite testada de 200 KPa. A vazão média foi de 3,73 L h⁻¹, valor próximo ao indicado pelo fabricante de 3,75 L h⁻¹.

Tabela 3. Médias de vazões dos gotejadores autocompensantes sob três pressões de serviço.

Pressão de serviço (kPa)	Vazão (L h ⁻¹)
100	3,82 a
150	3,64 a
200	3,73 a
Média	3,73
CV %	11,33

A uniformidade do sistema em função dos tempos de funcionamento usando esgoto tratado teve

efeito significativo, como observado no resumo da análise de variância (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para os dados de uniformidades dos gotejadores submetidos aos diferentes tempos de exposição ao esgoto doméstico tratado.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamento (A)	6	34.72570	5.78762	15.0802 **
Resíduo	189	72.53602	0.38379	
Total	195	107.26172		

** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Nas primeiras 60 h de funcionamento constatou-se uma redução da classificação de uniformidade de Christiansen de excelente para bom. Decorrido

180 h, essa classificação baixou para razoável, indicando a necessidade de realização da primeira limpeza do sistema (Tabela 5).

Tabela 5. Uniformidade de gotejadores sob diferentes tempos de exposição ao esgoto doméstico tratado e desobstruído com hipoclorito de sódio.

Tratamentos	CUC (%)	CUD (%)	Classificação	
			CUC	CUD
0 h	95,00	90,30	Excelente	Bom
60 h	86,58	77,85	Bom	Regular
120 h	85,70	73,48	Bom	Regular
180 h	73,29	56,58	Razoável	Ruim
180 hl	92,85	86,51	Excelente	Bom
240 h	73,06	55,04	Razoável	Ruim
240 hl	92,94	86,05	Excelente	Bom

Após a limpeza do sistema, com 240 h de funcionamento, o CUC aumentou de 73,06% para 92,94%, classificação que subiu de razoável para excelente, corroborando com Souza et al. (2006), ao constatarem uniformidade acima de 80% para sistema de irrigação por gotejamento de cafeicultores que realizavam limpezas periódicas dos sistemas de irrigação.

Batista et al. (2006b) obtiveram um CUC de 90% após 120 h de aplicação do esgoto doméstico, resultados superiores aos obtidos neste trabalho. Já Silva et al. (2012) chegaram a obter um CUC de 45,7% em apenas 48 h de funcionamento, resultados bem inferiores aos obtidos no presente trabalho, revelando que o tipo de tratamento do esgoto doméstico influencia na qualidade físico-química e consequentemente no tempo em que se deve efetuar a limpeza do sistema de irrigação.

De acordo com a eficiência do sistema de tratamento da ETE de Tianguá (CE), para se ter um sistema de irrigação por gotejamento operando com uniformidade máxima é necessário proceder uma

limpeza do sistema com hipoclorito de sódio a cada 60 h.

O efeito significativo do tempo de aplicação de esgoto doméstico na vazão dos emissores (Figura 2) revela interferência no desempenho hidráulico dos gotejadores, com a formação do biofilme no interior dos mesmos, diferenciando dos resultados obtidos por Pletschet al. (2009), que não constatarem diferenças no comportamento hidráulico até as 1000 h de funcionamento. A diminuição significativa da vazão dos gotejadores em função da exposição do esgoto doméstico tratado está relacionado com a eficiência do tratamento do esgoto.

O aumento significativo da vazão média dos gotejadores, após a limpeza do sistema, nas 180 h e 240 h de funcionamento (Figura 2 - tratamentos T5 e T7) estão de acordo com os resultados obtidos por Vieira (2002), que constatarem eficiência do hipoclorito na concentração de 25 mg L⁻¹ de cloro para a desobstrução dos gotejadores katif autocompensantes.

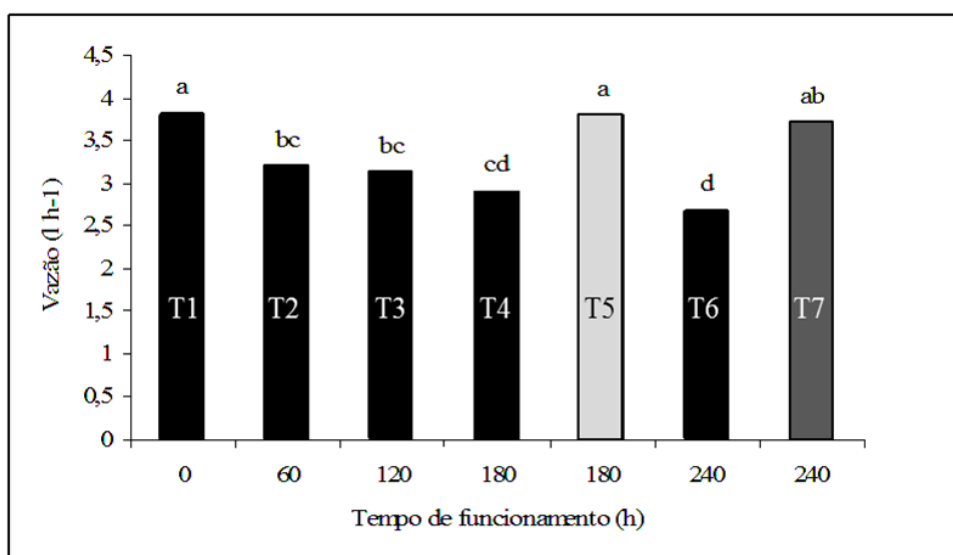


Figura 2. Vazão média dos gotejadores em função do tempo de funcionamento e limpeza do sistema.

CONCLUSÃO

Os gotejadores autocompensantes modelo katif de 3,75 L h⁻¹ apresentaram bom funcionamento sob pressões de 100 a 200 kPa. O desempenho hidráulico dos mesmos se alteraram quando a irrigação foi feita com esgoto doméstico tratado.

Para uma boa uniformidade do sistema de irrigação mantendo CUC e CUD acima de 85% e 75%, respectivamente, deve-se proceder a limpeza do sistema com 25 ml L⁻¹ de hipoclorito de sódio a 10% a cada 60 h.

REFERÊNCIAS

BATISTA, R. O. et al. Suscetibilidade ao entupimen-

to de gotejadores mediante a aplicação de esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 81-87, 2006a.

BATISTA, R. O. Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 213-217, 2006b.

BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p.18-22, 2010.

BATISTA, R. O. et al. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de

sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 137-144, 2011.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**, 6 ed. Viçosa, MG: UFV, 1995.657 p.

FREITAS, C. A. S. et al. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 27-43, 2012.

MANTOVANI, E. C. AVALIA. **Manual do usuário**. Viçosa: DEA/UFV-PNP&D/café Embrapa, 2002.

PLETSCH, T. A. et al. Desempenho de gotejadores com uso de esgoto doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, v. 14, p. 243-253, 2009.

PUIG-BARGUÉZ, J. et al. Hydraulic performance of drip subunits using WWTP effluents. **Agricultural Water Management**, v. 77, p. 249-262, 2005.

RESENDE, R. S. et al. Ocorrência de entupimento de origem biológica em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 156-160, 2001.

SILVA, L. P. et al. Desempenho de gotejadores auto-compensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480-486, 2012.

SILVA, C. B. et al. Avaliação da uniformidade de eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação localizado. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2, 2014, Fortaleza. **Papers...**, Fortaleza, 2014. p. 2244 – 2248.

SOUZA, L. O. C. et al. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 541-548, 2006.

TEIXEIRA, M. B. et al. Tratamento para desentupimento de gotejadores convencionais. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 235-248, 2008.

VIEIRA, G. H. S. **Recuperação de gotejadores obstruído devido à utilização de águas ferruginosas**. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa - MG, 2002.