

Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro

Fernando França da Cunha*, Antônio Teixeira de Matos, Rafael Oliveira Batista e Paola Afonsa Lo Monaco

Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Av. Ph Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: fcunha@vicosa.ufv.br

RESUMO. Objetivou-se avaliar a uniformidade de distribuição em sistemas de aplicação, por gotejamento do tipo fita, de água residuária bruta e tratada da despolpa dos frutos do cafeeiro (ARC). A água residuária tratada foi obtida com a passagem por filtros orgânicos constituídos por pergaminho de grãos de café. A plataforma de testes constou de três unidades de aplicação da ARC, cada uma com quatro linhas laterais. As avaliações da uniformidade de aplicação da ARC foram realizadas a cada 36 horas de funcionamento. A ARC bruta proporcionou mais rápido entupimento dos emissores, porém a filtrada também apresentou elevado potencial de entupimento. O entupimento dos gotejadores afetou drasticamente a uniformidade de aplicação da ARC. No caso da ARC bruta, valores de CUC e CUD foram reduzidos a zero após 36 horas de operação do sistema. No caso da ARC filtrada, foram obtidas reduções de 76% e 100%, após 144 horas de funcionamento.

Palavras-chave: fertirrigação, obstrução de emissores, CUC, CUD.

ABSTRACT. *Distribution uniformity of coffee wastewater application using drip systems.* This article aims to evaluate the uniformity of distribution in systems of application by drip tape of crude and treated wastewater from coffee fruit pulping. A platform of tests was set up, consisting of three units of drip wastewater application, each one with four lateral lines. The evaluations for uniformity of water application were done every 36h of operation. Crude wastewater caused faster emitter clogging but treated wastewater also presented high potential of dripper clogging. Dripper clogging affected the uniformity of wastewater application drastically. In the case of crude wastewater, the values for CUC and CUD were reduced to zero after 36 hours of system operation and, in the case of filtered wastewater, reductions of 76 and 100% were obtained after 144 hours of system operation.

Key words: fertirrigation, emitter clogging, CU, DU.

Introdução

O grande problema associado à utilização de águas residuárias em sistemas de irrigação localizada consiste na modificação da vazão pelo entupimento parcial ou total dos gotejadores e como esta afeta a uniformidade de distribuição de água. A formação de depósitos gelatinosos, resultantes da interação entre partículas orgânicas e inorgânicas, algas e zooplâncton, tem sido o fator central no processo de entupimento de gotejadores utilizados na aplicação de esgotos sanitários de reservatórios superficiais (Ravina *et al.*, 1992, 1997). Estudos realizados por Taylor *et al.* (1995) evidenciaram que as interações entre fatores físicos, químicos e biológicos foram responsáveis por 90% do entupimento de gotejadores.

Adin e Sacks (1991) relataram que as algas presentes em esgotos sanitários tratados obstruíram gotejadores somente após a ocorrência de deposições minerais ou de material gelatinoso. Colônias de protozoários do gênero *Ciliatea* e colônias de *Bryozoa plumatella* foram identificadas nos gotejadores entupidos e ao longo das linhas laterais de sistemas de aplicação, por gotejamento, de águas residuárias (Ravina *et al.*, 1992). Problema idêntico foi relatado por Sagi *et al.* (1995), os quais, porém, constataram, nos gotejadores obstruídos, apenas colônias de protozoários (*Epystilus balanarum*). Os protozoários aderiram-se às paredes do equipamento de irrigação somente onde a velocidade do escoamento do efluente era inferior a 2 m s⁻¹.

Nakayama e Buks (1981) concluíram que reduções

consideráveis na uniformidade de distribuição de água podem ocorrer mesmo quando existem poucos gotejadores entupidos no sistema de aplicação. 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 horas de funcionamento do sistema de irrigação. Nakayama e Buks (1981), estudando os efeitos do entupimento em gotejadores por meio de um modelo de simulação, verificaram que a uniformidade de aplicação de água pode ser reduzida em até 10% quando 1% a 5% dos gotejadores estavam obstruídos, operando com dois a oito gotejadores por planta. Outro efeito negativo do entupimento, relatado por vários autores, consiste na redução da vazão dos gotejadores. Rav-Acha *et al.* (1995) verificaram diminuição de 68% na vazão nominal de gotejadores utilizados na aplicação de esgotos sanitários tratados, após 60 horas do início do experimento. Fato similar foi descrito por Sagi *et al.* (1995), que identificaram colônias de protozoário ocupando 57% da área dos gotejadores, o que acarretou queda de 38% na vazão nominal. Batista (2004), trabalhando com a aplicação, via sistema de gotejamento, de esgoto sanitário tratado, constatou decréscimo considerável na uniformidade de aplicação dessa água em três distintos modelos de gotejadores. O referido autor afirma que, após 560 horas de funcionamento do sistema, ocorreram reduções nos valores do CUC e do CUD dos modelos de gotejadores M1, M2 e M3 de 3,63% e 7,50%; de 16,96% e 31,98%; e de 12,53% e 25,92%.

No que se refere ao manejo do sistema de aplicação, uma consequência direta da baixa uniformidade de aplicação de água é o aumento do volume aplicado, já que o aplicador, ao constatar a diminuição da vazão média dos gotejadores, pelo efeito do entupimento, tem a tendência de aumentar o tempo de aplicação. Dessa forma, as plantas que receberam menor lâmina de água passam a ser compensadas com o prolongamento do período de tempo de aplicação, conseqüentemente, as plantas que recebiam a lâmina adequada passam a ter problema de aplicação em excesso, podendo ocorrer problemas de perdas de água por percolação, no caso de irrigação (López *et al.*, 1992), e de superadubação, no caso de fertirrigação.

A uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação localizada pode ser expressa por meio de vários coeficientes. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), apresentado na Equação 1, foi adaptado do que é utilizado na avaliação da irrigação por aspersão.

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n_e \bar{q}} \right] \quad (1)$$

em que:

q_i = vazão de cada gotejador, L h⁻¹;

$\bar{q}$ = vazão média dos gotejadores, L h⁻¹; e

n_e = número de gotejadores.

Mantovani (2002) apresentou uma classificação dos valores de CUC, particularmente para sistemas de irrigação por gotejamento, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para sistemas de irrigação por gotejamento.

Classificação	CUC (%)
Excelente	90 – 100
Boa	80 – 90
Razoável	70 – 80
Ruim	60 – 70
Inaceitável	–

Fonte: Mantovani (2002).

Keller e Karmeli (1975) sugerem a utilização da Equação 2, que compara a média de 25% dos menores valores de vazões observadas com a média total das vazões para a determinação da uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação por gotejamento. Merriam e Keller (1978) apresentaram o seguinte critério geral para interpretação dos valores de CUD, para sistemas que estejam em operação por um ou mais anos: maior que 90%, excelente; entre 80 e 90%, bom; 70 e 80%, regular; menor que 70%, ruim.

$$CUD = 100 \frac{q_{25}}{\bar{q}} \quad (2)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, % e

$q_{25\%}$ = valor médio dos 25% menores valores de vazões observadas, L h⁻¹.

Estudos realizados por vários pesquisadores, no mundo, mostram que a aplicação de águas residuárias por gotejamento acarreta sérios problemas de obstrução dos gotejadores. Por esta razão, o presente trabalho objetivou avaliar a uniformidade de aplicação, por gotejamento, de

água residuária, bruta e tratada, da despolpa dos frutos do cafeeiro.

Material e métodos

O ensaio experimental foi realizado no período de 3/7 a 13/8 de 2004 na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Estado de Minas Gerais.

Nesta área experimental, foram montadas duas plataformas de testes, que constavam de três unidades de aplicação de água residuária por gotejamento, cada uma com quatro linhas laterais (Figura 1). Nos testes, foram utilizadas fitas gotejadoras do modelo AQUA-TRAXX com as seguintes especificações técnicas: vazão nominal de 1,0 L h⁻¹ à pressão de 56 kPa, espaçamento entre gotejadores de 0,3 m.

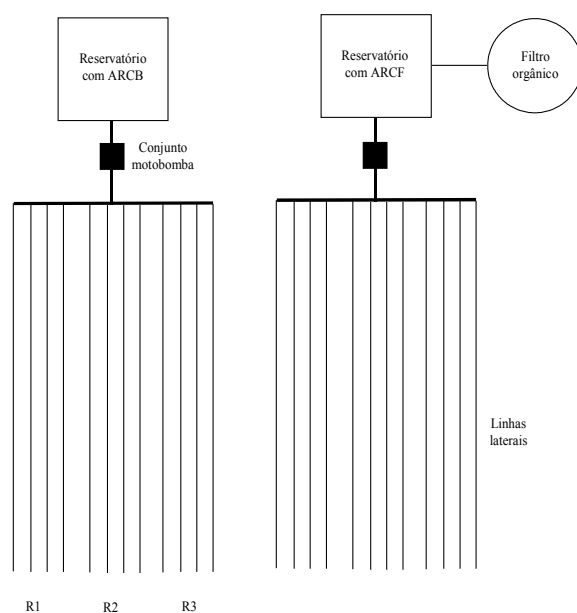


Figura 1. Esquema da plataforma de testes utilizada para aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro bruta (ARCB) e água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro filtrada (ARCF).

Parte da água residuária bruta da despolpa dos frutos do cafeeiro foi submetida a um tratamento primário, pela passagem em filtro orgânico, constituído por coluna de 1,20 m de altura, tendo o pergaminho dos grãos de café como elemento filtrante, na granulometria de 3-4 mm, conforme recomendações de Lo Monaco *et al.* (2002), antes da sua condução até o sistema de gotejamento.

Para a realização dos testes com ambas as águas residuárias, foi mantida, no início das

linhas laterais, uma pressão de serviço de 101 kPa, propiciando uma vazão média inicial dos gotejadores de 1,35 L h⁻¹.

Durante o período de testes com a água residuária filtrada, foram realizadas cinco avaliações das vazões dos gotejadores, a cada 36 horas, por meio da seleção de 16 gotejadores equidistantes, em cada linha lateral. O mesmo não pôde ser feito com a água residuária bruta, em razão do rápido entupimento dos emissores.

A vazão de cada gotejador foi obtida por meio da razão entre o volume de água residuária emitido pelo gotejador, coletado com o posicionamento de provetas junto ao emissor, e o tempo de coleta de três minutos. Os dados de vazão foram interpretados por meio dos coeficientes de uniformidade CUC e CUD, apresentados as Equações 1 e 2.

O experimento foi conduzido no período de 3/7 a 13/8 de 2004, e a unidade de aplicação de água residuária funcionou, em média, quatro horas por dia, sete dias por semana. Em termos comparativos, esse tempo de operação representou um período de aplicação equivalente à aplicação de água para suprimento da demanda hídrica da cultura do cafeeiro de 7 meses, para as condições de Viçosa, Estado de Minas Gerais.

Resultados e discussão

Nas Tabelas 2 e 3, estão apresentados os valores do CUC e do CUD, determinados para as unidades de irrigação abastecidas com água residuária bruta e filtrada da despolpa dos frutos do cafeeiro. Verificou-se, nesses quadros, que os valores médios do CUC e do CUD na unidade de irrigação com aplicação de água residuária bruta da despolpa dos frutos do cafeeiro foram de 94,77% e 0,00% e 92,42% e 0,00% nos tempo de funcionamento de 0 e 36 horas, respectivamente. Na unidade de irrigação com aplicação de água residuária filtrada da despolpa dos frutos do cafeeiro, os valores médios do CUC e do CUD foram de 95,96% e 93,56%; 62,05% e 29,86%; 29,86 e 6,37%; 5,05% e 0,35%; e 23,02% e 0,00% para os horários de aplicação de 0, 36, 72, 108 e 144 horas, respectivamente. A água residuária bruta apresentou um maior potencial de entupimento de gotejadores em relação à água residuária filtrada, porém para os dois casos os níveis de uniformidade de aplicação de água ao final do experimento foram classificados como inaceitáveis, do ponto de vista do manejo de irrigação.

Tabela 2. Valores do CUC ao longo das horas de funcionamento para as unidades de irrigação abastecidas com água residuária bruta da despolpa dos frutos do cafeeiro (ARCB) e água residuária tratada da despolpa dos frutos do cafeeiro (ARCF).

Repetições	Horas de funcionamento				
	0	36	72	108	144
	ARCB				
	CUC (%)				
R1	97,73	0,00			
R2	96,47	0,00			
R3	90,10	0,00			
Média	94,77	0,00			
Repetições	ARCF				
	0	36	72	108	144
	CUC (%)				
R1	95,42	54,63	22,47	3,04	15,60
R2	97,13	62,77	31,58	8,76	28,51
R3	95,34	68,76	35,53	3,34	24,94
Média	95,96	62,05	29,86	5,05	23,02

Tabela 3. Valores do CUD ao longo das horas de funcionamento para as unidades de irrigação abastecidas com água residuária bruta da despolpa dos frutos do cafeeiro (ARCB) e água residuária tratada da despolpa dos frutos do cafeeiro (ARCF).

Repetições	Horas de funcionamento				
	0	36	72	108	144
	ARCB				
	CUD (%)				
R1	96,15	0,00			
R2	94,19	0,00			
R3	86,92	0,00			
Média	92,42	0,00			
Repetições	ARCF				
	0	36	72	108	144
	CUD (%)				
R1	93,36	18,33	3,72	0,00	0,00
R2	96,22	32,34	6,04	0,52	0,00
R3	91,10	38,93	9,34	0,53	0,00
Média	93,56	29,86	6,37	0,35	0,00

Nas Figuras 2 e 3, estão apresentados os valores do CUC e do CUD, determinados para o sistema de aplicação, por gotejamento, de água residuária tratada da despolpa dos frutos do cafeeiro, ao longo do ensaio experimental. A não apresentação dos valores obtidos, graficamente, para a água residuária bruta, deve-se à não obtenção de um período suficiente de operação do sistema, em razão do rápido entupimento dos emissores, para que se pudesse obter os valores de CUC e CUD. Avaliando-se os resultados apresentados nas duas figuras, pode-se verificar que a uniformidade de aplicação da ARC tratada decresceu consideravelmente, ao longo do tempo, devido, basicamente, ao entupimento dos gotejadores. Nos gotejadores, foi verificada a formação de um biofilme, resultante da interação entre colônias de bactérias e sólidos suspensos, o que alterou, de forma contundente, a uniformidade de distribuição de água pelo sistema gotejador.

Na Figura 2, pode-se verificar que o CUC decresceu,

linearmente, até o tempo de funcionamento de 108 horas, sendo seu valor de 5%. O aumento do CUC no tempo de funcionamento de 144 horas pode ter ocorrido em razão da desobstrução aleatória dos gotejadores, decorrente de saída de material gelatinoso de obstrução, variações da qualidade da água ou de variações de temperatura ambiente. Estabelecendo-se comparação, entre a primeira e a última avaliação, observam-se reduções de 76% no CUC.

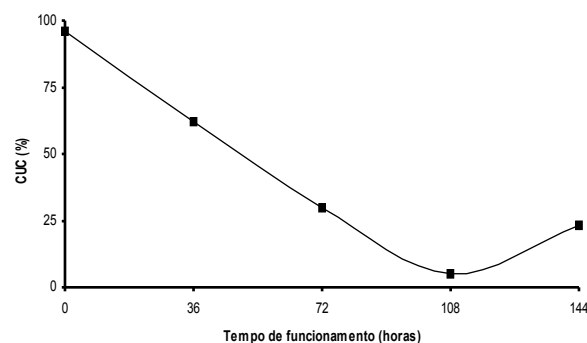


Figura 2. Valores médios do CUC obtidos ao longo do tempo, de fitas gotejadoras aplicando água residuária tratada proveniente da despolpa dos frutos do cafeeiro.

O CUC, que antes poderia ser classificado como excelente, após 144 horas de aplicação da ARC tratada, atingiu um nível inaceitável do ponto de vista da uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento.

Na Figura 3, verificou-se, também, decréscimo do CUD, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de aplicação. Nos tempos de funcionamento de 108 e 144 horas, o valor da uniformidade de aplicação da ARC tratada foi zero. O CUD, que inicialmente era classificado como excelente, atingiu um nível inaceitável, quando se estabeleceu comparação entre a primeira e a última avaliação.

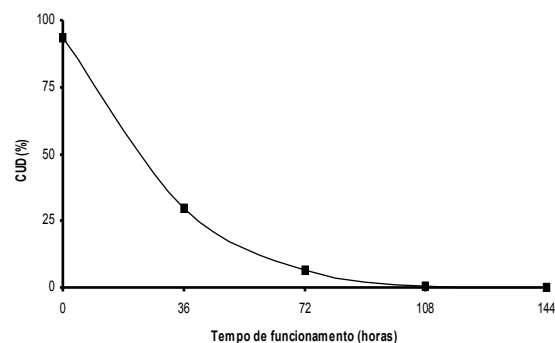


Figura 3. Valores médios do CUD, obtidos ao longo do tempo, de fitas gotejadoras aplicando água residuária tratada proveniente da

despolpa dos frutos do cafeeiro.

As reduções no CUC e no CUD de 100% e 100% e de 76% e 100% nas unidades que aplicaram águas residuárias bruta e tratada foram superiores aos valores de 16,96% e 31,98% obtidos por Batista (2004), com a aplicação de esgoto sanitário tratado, via sistemas de irrigação por gotejamento. Tajrishy *et al.* (1994), trabalhando com a aplicação de esgoto sanitário armazenado, via sistema de irrigação por gotejamento, constataram redução na uniformidade de aplicação de água de 21,43%.

Os limites de adequabilidade do funcionamento de sistemas de irrigação por gotejamento (valores mínimos de CUD e CUC), que aplicam águas residuárias, não necessariamente são os mesmos para os sistemas de irrigação que aplicam água de melhor qualidade. Atualmente, necessita-se de pesquisas para propor novos valores limites nesses casos.

Conclusão

Diante dos resultados apresentados, concluiu-se que:

As águas residuárias bruta e tratada da despolpa dos frutos do cafeeiro apresentaram elevado potencial de entupimento de gotejadores, sendo o principal fator a isso associado à formação de um biofilme resultante da interação entre as colônias de bactérias e os sólidos suspensos.

Com apenas 36 horas de funcionamento da unidade de aplicação por gotejamento, a água residuária bruta propiciou reduções no CUC e no CUD de 100%.

O entupimento dos gotejadores afetou drasticamente a uniformidade de aplicação da água residuária tratada, tendo sido obtidas reduções de 76% no CUC e de 100% no CUD, após 144 horas de funcionamento da unidade de aplicação por gotejamento.

Referências

ADIN, A. SACKS, M. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.*, New York, v. 117, n. 6, p. 813-826, 1991.

BATISTA, R.O. *Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado sobre sistemas de irrigação por gotejamento*. 2004. Tese (Mestrado)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

HILLS, D. J.; EL-EBABY, F. G. Evaluation of microirrigation self-cleaning emitters. *Appl. Eng. Agric.*, St. Joseph, v. 6, n. 4, p. 441-445, 1990.

KELLER, J.; KARMELI, D. *Trickle irrigation desing*. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975.

LO MONACO, P. A. *et al.* Eficiência de materiais orgânicos filtrantes no tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 10, n. 1-4, p. 40-47, 2002.

LÓPEZ, J. R. *et al.* *Riego localizado*. Madrid: Mundi-Prensa, 1992.

MANTOVANI, E.C. *Avalia: manual do usuário*. Viçosa: DEA/UFV–PNP&D/café Embrapa, 2002.

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

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v. 24, n. 4, p. 77-80, 1981.

RAV-ACHA, C. *et al.* The effect of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. *Water Res.*, London, v. 29, n. 1, p. 119-129, 1995.

RAVINA, I. *et al.* Control of clogging in drip irrigation with stored reclaimed wastewater. *Irrig. Sci.*, New York, v. 13, n. 3, p. 129-139, 1992.

RAVINA, I. *et al.* Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agric. Water Manag.*, Amsterdam, v. 33, n. 2-3, p. 127-137, 1997.

SAGI, G. *et al.* Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. *Proceedings...* St. Joseph: ASAE, 1995. p. 250-254.

TAJRISHY, M. A. *et al.* Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.*, New York, v. 120, n. 4, p. 716-731, 1994.

TAYLOR, H.D. *et al.* Drip irrigation with waste stabilisation pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. *Water Sci. Technol.*, London, v. 31, n. 12, p. 417-424, 1995.

Received on April 06, 2005.

Accepted on January 26, 2006.