

Aplicação de cloro orgânico no tratamento de tubogotejador utilizado na irrigação com água ferruginosa

Cristiani Campos Martins^{1*}, Antônio Alves Soares¹, Márcio Mota Ramos¹ e Edvaldo Fialho dos Reis²

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: cristiani.martins@ufv.br

RESUMO. Para avaliar o efeito da cloração orgânica na uniformidade de distribuição de água e na vazão de um tubogotejador com vazão de 2,2 L h⁻¹, foram testados quatro níveis de concentrações de dicloroisocianurato de sódio (N1 = 0, N2 = 15, N3 = 30 e N4 = 45 mg L⁻¹ de cloro livre). As avaliações foram realizadas no início do experimento e a cada 100 horas de funcionamento do sistema, totalizando 8 avaliações. No cálculo da uniformidade de aplicação de água foram utilizados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), de distribuição (CUD) e de emissão (Us). Também se realizou o estudo da vazão e do coeficiente de variação da vazão (CVq). Verificou-se que no nível N1 ocorreram reduções de 23; 30,2 e 8,35%, para o CUC, CUD e Us, respectivamente, sendo que a vazão apresentou uma redução de 6,13%, refletindo em um aumento do CVq. O tratamento com dicloro foi eficiente para precaver contra entupimento para todas as concentrações utilizadas e o sistema foi classificado com excelente uniformidade em praticamente todas as avaliações.

Palavras-chave: cloro, ferro, entupimento.

ABSTRACT. Application of the organic chlorination in the treatment of tubedripper used in the irrigation with water high in iron content. To evaluate the effect of the organic chlorination in the uniformity of water distribution and in the outflow of a tubedripper with 2,2 L h⁻¹, had been tested four levels of concentrations of dicloroisocianurato of sodium (N1 = 0, N2 = 15, N3 = 30 e N4 = 45 mg L⁻¹ of free chlorine). The evaluations had been carried through in the beginning of the experiment and to each 100 hours of functioning of the system, totalizing 8 evaluations. In the calculation of the uniformity of water application had been used the coefficients of uniformity of Christiansen (CUC), of distribution (CUD) and emission (Us). Also the study of the discharge and the coefficient of variation of the discharge (CVq). It was verified that in the level N1, reductions of 23; 30.2 and 8.35%, for the CUC, CUD and US, respectively. The discharge presented a 6.13% reduction, reflecting in an increase of the CVq. The treatment with dicloro was efficient to prevent against clogging for all the used concentrations and the system was classified with excellent uniformity in practically all the evaluations.

Key words: chlorine, iron, clogging.

Introdução

A qualidade da água é um fator essencial para o sucesso da irrigação por gotejamento, pois o entupimento dos gotejadores reduz a vazão e, conseqüentemente, diminui a uniformidade de aplicação de água dos sistemas, sendo necessária uma avaliação periódica. A sensibilidade ao problema de entupimento varia com as características do emissor (BATISTA et al., 2006; TROOIJEN et al., 2000) e com a qualidade da água relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

As principais fontes causadoras de entupimento

em sistemas localizados, identificados por Gilbert e Ford (1986), são de natureza química, relacionadas à precipitação de elementos como cálcio e ferro, de natureza física, sendo partículas do solo e pequenos animais (formigas, aranhas, ovos de lesmas etc.) as principais causas, e de natureza biológica, relacionado a algas e mucilagem bacteriana, principalmente.

O ferro e o manganês, em elevados teores são os principais causadores das obstruções de tubulações e emissores dos sistemas de irrigação. Estes elementos, ao entrar em contato com o oxigênio atmosférico ou incorporado à água, oxidam-se passando para as

formas Fe^{3+} e Mn^{4+} , de baixo coeficiente de solubilidade, precipitam-se facilmente no interior das tubulações e dos emissores, impedindo ou dificultando a passagem normal da água (MARTINS, 2000).

O processo de precipitação do ferro pode ocorrer tanto em ambiente aeróbico como anaeróbico, dependendo da fonte de água. Nas águas superficiais, este elemento é geralmente encontrado na forma de precipitado (Fe_2O_3), mas também pode ser encontrado no estado ferroso (FeO) nas camadas mais profundas (HEM, citado por MICHALAKOS et al., 1997). Quando a concentração de ferro na água for maior que $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, poderão aparecer formas graves de incrustação. 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.

Tanto para o consumo humano como para a produção agrícola, os recursos hídricos estão cada vez mais escassos. Portanto, tornou-se necessário um planejamento mais eficaz do aproveitamento da água, com desenvolvimento de metodologias que permitam estimar volumes cada vez mais exatos para obtenção de ótima produção nos cultivos agrícolas (SYPERRECK et al., 2008). Assim, a uniformidade pode ser compensada por um manejo eficiente da lâmina a ser aplicada, proporcionando, dessa maneira, melhor eficiência na sua utilização (REZENDE et al., 2003).

Como medidas preventivas ao entupimento recomendam-se o uso de filtros, tratamento químico, abertura periódica de final de linha e inspeção de campo. Estando o sistema entupido, as alternativas são a troca dos emissores ou, segundo Gilbert et al. (1979), a realização de processos de recuperação, que aumenta os custos de manutenção do sistema e, em algumas circunstâncias, pode ser ineficiente. As técnicas mais usuais são a filtragem e a cloração.

Os derivados clorados podem ser de origem inorgânica, como gás cloro e os hipocloritos de sódio e de cálcio; e de origem orgânica, como o dicloroisocianurato de sódio. Este composto orgânico é comercializado na forma de pó ou granulado, possui maior estabilidade ao armazenamento que os compostos inorgânicos e é mais estável em solução aquosa, permanecendo efetivo por período de tempo maior (MACÊDO, 2000). Assim, o uso deste composto está surgindo como uma nova alternativa, por apresentar baixo risco à saúde humana e não causar danos às plantas cultivadas e ao meio ambiente.

Deve-se ressaltar que, derivados clorados de origem orgânica, como o dicloroisocianurato de sódio e o ácido tricloroisocianúrico foram certificados para serem utilizados em tratamento químico de água para abastecimento público pelo NSF (National Sanitation Foundation), dos Estados Unidos, em 2002, não apresentando risco de formação de substâncias potencialmente cancerígenas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento e a eficiência do processo de cloração orgânica no tratamento de um tubogotejador utilizado na irrigação com água ferruginosa.

Material e métodos

O ensaio experimental foi realizado na área pertencente à Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, situada a $19^{\circ}48'$ de latitude sul e $40^{\circ}40'$ de longitude Oeste, em uma altitude de 174 m. Foi montado um sistema de irrigação por gotejamento para analisar o entupimento de um tubogotejador auto-compensante, com as seguintes especificações técnicas: vazão nominal de $2,2 \text{ L h}^{-1}$, à pressão de 140 kPa, espaçamento entre tubogotejadores de 0,75 m.

A água utilizada no experimento apresentava $3,57 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro total, estando localizada próxima ao local onde foi montado o experimento.

O sistema de irrigação foi dividido em quatro unidades operacionais onde se utilizou os níveis de concentração de cloro: N1 (sem aplicação de cloro), N2 (15 mg L^{-1} de cloro livre), N3 (30 mg L^{-1} de cloro livre) e N4 (45 mg L^{-1} de cloro livre). A cloração foi realizada após cada avaliação de uniformidade do sistema, a cada 100 horas de operação, utilizando-se dicloroisocianurato de sódio (65%) como fonte de cloro.

Um conjunto motobomba de 1 cv era utilizado para fornecer água às quatro unidades operacionais, todas com filtragem comum com filtro de disco de 120 mesh.

Foram instaladas doze linhas laterais de 20 m de comprimento contendo cada uma 24 tubogotejadores. O dicloroisocianurato de sódio (65%) era aplicado nos Níveis (N2, N3 e N4) a uma taxa de injeção de 10 L h^{-1} , por um injetor de fertilizante tipo Venturi de 70 L h^{-1} de capacidade.

O tempo de operação total do sistema foi de 700h, com o sistema funcionando, em média, 15h por dia. As avaliações de uniformidade foram realizadas no início do experimento e a cada 100h de funcionamento do sistema, totalizando 8 avaliações.

A vazão de cada gotejador foi obtida por meio da razão entre o volume de água aplicado pelo tubogotejador e o tempo de coleta de três

minutos, sendo também determinado o coeficiente de variação da vazão (CVq), calculado pelo desvio-padrão dos valores de vazão da amostra, em relação à vazão média, representando uma medida de dispersão relativa dos dados. No cálculo da uniformidade de aplicação de água foram utilizados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), de Distribuição (CUD) e Estatístico (Us), de acordo com as equações 1, 2 e 3, respectivamente.

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

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

q_i = vazão de cada emissor, L h⁻¹;

q_m = vazão média dos emissores, L h⁻¹; e

n = número de emissores avaliados.

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (2)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$q_{25\%}$ = média dos 25% menores valores de vazão observados, L h⁻¹;

q_m = vazão média dos emissores, L h⁻¹.

$$U_s = 100(1 - CVq) = 100 \left(1 - \frac{\sigma_q}{q_m} \right) \quad (3)$$

em que:

CVq = coeficiente de variação da vazão do emissor;

σ_q = desvio-padrão da vazão do emissor;

q_m = vazão média dos emissores, L h⁻¹.

Observa-se na Tabela 1 os critérios para classificação de CUC, CUD e Us.

Tabela 1. Critérios para classificação dos sistemas de irrigação quanto ao CUC, CUD e Us.

CUC (%)*	CUD (%)**	Avaliação	Us (%)***	Avaliação
90-100	90-100	Excelente	90 - 100	Excelente
80-90	80-90	Bom	80 - 90	Muito bom
70-80	70-80	Razoável	70 - 80	Regular
60-70	< 70	Ruim	60 - 70	Péssimo
			< 60	Inaceitável

Fonte: *Mantovani (2002); ** Bralts (1986); ***Favetta e Botrel (2001).

O experimento foi montado em esquema de

parcelas subdivididas, tendo nas parcelas quatro doses de cloro livre (N1 = 0, N2 = 15, N3 = 30 e N4 = 45 mg L⁻¹ de cloro livre) e nas subparcelas os tempos de funcionamento (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 e 700 horas) no delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Estão apresentados nas Figuras 1, 2 e 3, os valores médios do CUC, CUD e Us, respectivamente, nos níveis N1, N2, N3 e N4, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação.

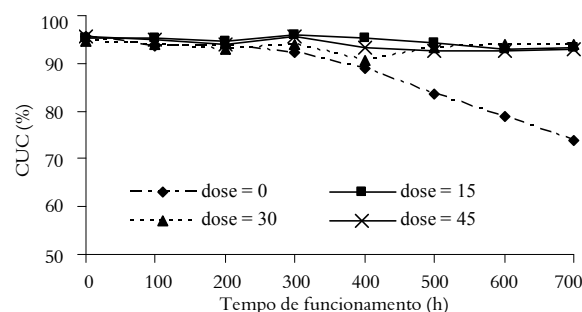


Figura 1. Valores médios de CUC (%), nos níveis N1, N2, N3 e N4, em função do tempo de funcionamento do sistema.

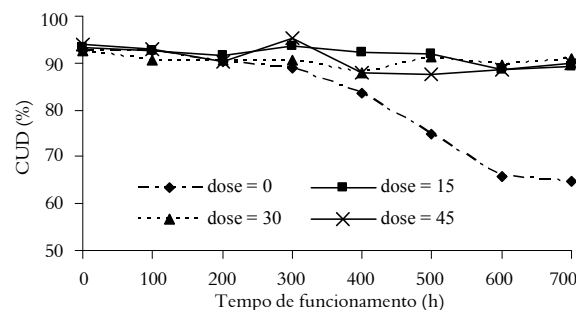


Figura 2. Valores médios de CUD (%), nos níveis N1, N2, N3 e N4, em função do tempo de funcionamento do sistema.

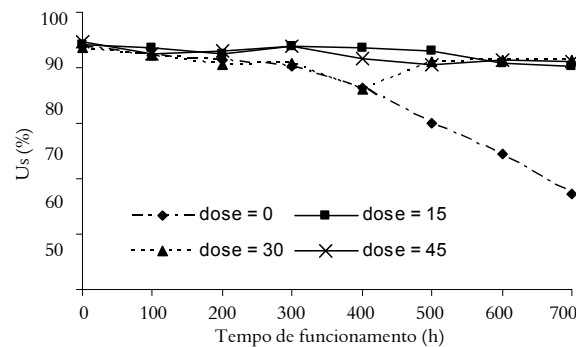


Figura 3. Valores médios de Us (%), nos níveis N1, N2, N3 e N4, em função do tempo de funcionamento do sistema.

Observa-se na Figura 1, que houve redução nos valores médios do CUC com a utilização de água ferruginosa, sem tratamento químico (dose = 0 mg L⁻¹). O tempo crítico, ou seja, onde houve uma queda brusca da uniformidade, ocorreu às 400 h de funcionamento. O sistema foi classificado como excelente no início as avaliações (CUC = 95,8%), mas apresentou redução no valor de CUC de 23%, passando a ser classificado como razoável (CUC = 73,75%). Nos níveis N2, N3 e N4, o uso do dicloisocianurato de sódio manteve os valores médios do CUC sempre acima de 90% (Figura 1), ficando o sistema classificado como excelente durante todo o período do experimento.

Verifica-se na Figura 2, que na unidade de irrigação que não recebeu o tratamento com o dicloro (N1), os valores médios do CUD decresceram com o aumento do tempo de funcionamento. Na primeira avaliação, o valor médio do CUD foi de 92,65%, classificação excelente, mas na última avaliação o valor médio foi de 64,65%, classificação ruim, indicando uma redução de 30,2%. Verificou-se que os níveis N2, N3 e N4 mantiveram um valor de CUD excelente durante todas as avaliações, indicando que o produto é capaz de ajudar na limpeza das linhas de irrigação e permitir o uso de águas com elevado teor de ferro total para irrigação por gotejamento.

O mesmo comportamento foi verificado na Figura 3, pelo estudo do coeficiente de uniformidade estatístico (Us), onde o sistema apresentou uma queda no valor de Us para o nível N1. Na primeira avaliação o sistema apresentou valor de Us de 93,76%, classificando-se como excelente de acordo com Favetta e Botrel (2001), mas na última avaliação esse valor caiu para 67,18%, indicando uma redução de 28,35% na uniformidade.

Estão apresentados nas Figuras 4 e 5, os valores médios de Vazão e coeficiente da variação da vazão (CVq), respectivamente, nos níveis N1, N2, N3 e N4, em função do tempo de funcionamento do sistema.

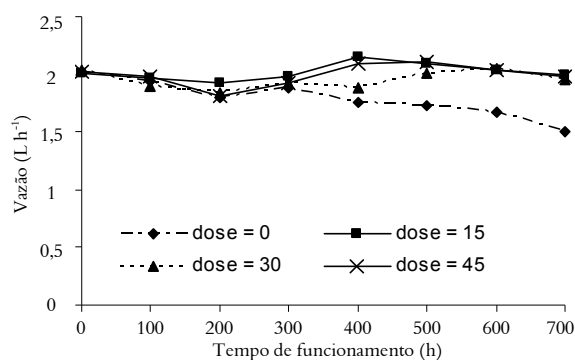


Figura 4. Valores médios de Vazão, nos níveis N1, N2, N3 e N4, em função do tempo de funcionamento do sistema.

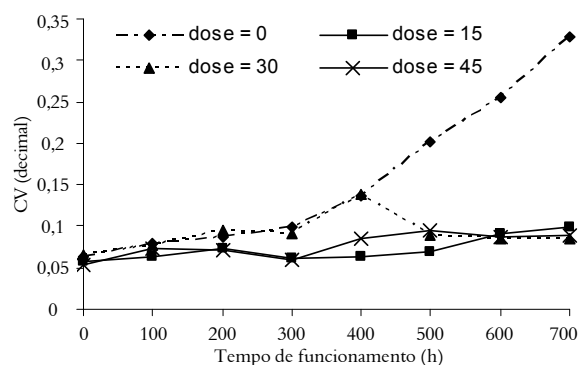


Figura 5. Valores médios de CVq, nos níveis N1, N2, N3 e N4, em função do tempo de funcionamento do sistema.

Observa-se na Figura 4, que o tubogotejador no nível N1, onde não ocorreu o tratamento com dicloro, apresentou uma redução na vazão média de 26,13%. Já para as linhas que receberam o tratamento químico, houve uma tendência em manter os valores médios da vazão obtidos em todas as avaliações.

Segundo Gilbert e Ford (1986), estudos estatísticos mostram que o entupimento dos emissores tem sido a maior causa de variação de vazão nos sistemas de irrigação localizada.

Observa-se na Figura 5, que o tubogotejador apresentou-se muito sensível ao CVq devido ao entupimento pelo uso de água ferruginosa, passando de um CVq de 6,24% no início do experimento, para 32,81% após 700h de funcionamento. Verifica-se nesta figura que o CVq variou menos ao longo do tempo de funcionamento do sistema nos Níveis N2, N3 e N4, demonstrando resposta favorável à cloração orgânica.

Deve-se ressaltar, conforme verificado nas figuras acima, que o dicloroisocianurato de sódio mostrou-se eficaz para a convivência entre a irrigação com águas com alto teor de ferro total e o entupimento de gotejadores, além de ser um produto que apresenta menor risco ambiental, característica fundamental na atualidade.

Em águas com elevado teor de ferro total utilizadas na irrigação localizada, a mucilagem produzida por ferrobactérias contribui para agravar o problema de entupimento (Figura 6), quando não se realiza nenhum tipo de tratamento. Essa mucilagem se adere à tubulação, conduzindo, conseqüentemente, à diminuição da vazão dos emissores, afetando a uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação.

Estão apresentados na Tabela 2, os resultados do teste em Tukey ao nível de 5% de probabilidade e os valores médios do CUC, CUD, Us, vazão e CVq.



Figura 6. Tubogotejador novo (A) e após 700h de funcionamento (B), com a presença de mucilagem formada pelas ferrobactérias.

Tabela 2. Teste de média e valores médios do CUC, CUD, Us, Vazão e CVq, para o tubogotejador utilizado no experimento.

Variável dependente	Nível	teste de Tukey
CUC	N1	86,36 b
	N2	95,21 a
	N3	94,31 a
	N4	94,70 a
CUD	N1	79,29 b
	N2	92,81 a
	N3	91,59 a
	N4	92,04 a
Us	N1	82,81 b
	N2	93,97 a
	N3	92,87 a
	N4	83,59 a
Vazão	N1	1,84 b
	N2	2,11 a
	N3	2,08 a
	N4	2,07 a
CVq	N1	0,171 b
	N2	0,060 a
	N3	0,071 a
	N4	0,064 a

*Médias com e mesma minúscula entre colunas, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Conclusão

Concluiu-se que após 700h de funcionamento do sistema de irrigação com água ferruginosa, ocorreram reduções de 23; 30,2 e 8,35%, para o CUC, CUD e Us, respectivamente, sendo que a vazão apresentou uma redução de 6,13%, refletindo em um aumento do CVq.

O sistema foi classificado como excelente quanto ao CUC, CUD e Us, em quase todas as avaliações nos níveis que receberam cloração com dicloroisocianurato de sódio. Os resultados mostram que sistemas de irrigação por gotejamento podem funcionar satisfatoriamente por longos períodos, utilizando água com teores de ferro além dos recomendados, desde que medidas preventivas, como o tratamento com cloro e abertura periódica dos finais de linhas, sejam tomadas.

Referências

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, n. 2, p. 213-217, 2006.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) *Trickle irrigation for crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240.

FAVETTA, G. M.; BOTREL, T. A. Uniformidade de Sistemas de Irrigação Localizada: Validação de Equações. *Scientific Agricultural*, v. 58, n. 2, p. 427-430, 2001.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) *Trickle irrigation for crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 142-163.

GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation: prevention of clogging. *Transactions of the ASAE*, v. 22, n. 3, p. 514-519, 1979.

MACÊDO, J. A. B. *Águas e Águas*. Belo Horizonte: Ortofarma, 2000.

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

MARTINS, M. L. N. *Dinâmica do ferro e do manganês no hipolímio do reservatório Serra Azul em Minas Gerais*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária. Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

MICHALAKOS, G. D.; NIEVA, J. M.; VAYENAS, D. V.; LYBERATOS, G. Removal of iron from potable water using a trickling filter. *Water Research*, v. 31, n. 5, p. 991-996, 1997.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. *Transactions of the ASAE*, v. 24, n. 4, p. 7780, 1981.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science*, v. 12, n. 4, p. 187-192, 1991.

REZENDE, R.; GONÇALVES, A.; FRIZZONE, J.; FREITAS, P.; BERTONHA, A.; HELBEL JUNIOR, C. Uniformidade da lâmina de irrigação, da umidade do solo e da produção da cultura do feijoeiro, espacialmente referenciadas. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 25, n. 2, p. 425-437, 2003.

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 30, n. 5, p. 603-609, 2008.

TROOIJEN, T. P.; LAMM, F. R.; STONE, L. R.; ALAM, M.; ROGERS, D. H.; CLARK, G. A.; SCHLEGEL, A. J. Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: drip-line flow rates. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 16, n. 5, p. 505-508, 2000.

Received on September 10, 2007.

Accepted on March 30, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.