

OBSTRUÇÃO DE GOTEJADORES OPERANDO COM EFLUENTE DE LATICÍNIOS DILUÍDO

Maria Elidayane da Cunha¹, Blake Charles Diniz Marques², Rafael Oliveira Batista³,
Andreza Grasielly Costa⁴, Rutilene Rodrigues da Cunha⁵, Ayslann Todayochy Siqueira de Andrade⁶

RESUMO

O reuso da água na agricultura é uma alternativa de minimização da degradação dos corpos hídricos receptores, além da possibilidade de fornecimento de água e nutrientes a produção vegetal. No entanto, a irrigação por gotejamento, sistema mais indicado ambientalmente, tem como maior vulnerabilidade a susceptibilidade ao entupimento dos emissores. Este trabalho objetivou analisar a qualidade do efluente de laticínios diluído, em relação ao risco de obstrução de emissores, bem como verificar a alteração de indicadores de desempenho hidráulico como vazão (Q) e coeficiente de variação da vazão (CVQ). O experimento foi conduzido no Laboratório de Poluição e Degradação do Solo da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró-RN; a partir da montagem de uma bancada experimental com cinco subunidades gotejadoras tendo os emissores Netafim Streamline, Netafim Tiran, Netafim PCJ CNJ, NaanDanJain TalDrip e Netafim Super Typhoon; onde Q e CVQ foram determinados e avaliados a cada 40 h, até completar o tempo de funcionamento total de 200 h. Os resultados indicaram, conforme diretrizes internacionais, que os sólidos suspensos e pH foram os principais agentes ocasionadores de obstrução de gotejadores que operam com efluente de laticínios diluído. O entupimento dos gotejadores com biofilme acarretou redução de Q e aumento do CVQ, ao longo do tempo. Os menores níveis de obstrução ocorreram nas subunidades gotejadoras dotadas dos emissores Netafim Streamline e Netafim Super Typhoon.

Palavras-chave: reuso da água; entupimento; variação da vazão; emissores.

CLOGGING OF DRIPPERS OPERATING WITH DILUTED DAIRY WASTEWATER

ABSTRACT

The reuse of water in agriculture is an alternative of minimizing the degradation of the water body, besides the possibility of supplying water and nutrients to the vegetal production.

¹ Mestranda em Manejo de Solo e Água, UFERSA, e-mail: elidaycunha@gmail.com

² Doutor em Manejo de Solo e Água, Prof. da UFERSA, e-mail: charles@ufersa.edu.br

³ Doutor em Engenharia Agrícola, Prof. da UFERSA, e-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br

⁴ Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFRB, e-mail: andreza_grasielly@hotmail.com

⁵ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFERSA, e-mail: rutilene10@hotmail.com

⁶ Mestrando em Manejo de Solo e Água, UFERSA, e-mail: ayslan_@hotmail.com

However, drip irrigation, which is more environmentally indicated, has the greatest vulnerability to the susceptibility to clogging of the emitters. The objective of this work was to analyze the quality of diluted dairy effluent in relation to the risk of emitter obstruction, as well as to verify the alteration of hydraulic performance indicators such as flow rate (F) and coefficient of flow variation (FCV). The experiment was conducted at the Laboratory of Pollution and Soil Degradation of the Federal Rural University of the Semi-Arid, in Mossoró-RN; from the assembly of an experimental bench with five drip subunits having the Netafim Streamline, Netafim Tiran, Netafim PCJ CNJ, NaanDanJain TalDrip and Netafim Super Typhoon emitters; where F and FCV were determined and evaluated every 40 h until the total operating time of 200 h had been completed. The results indicated, according to international guidelines, that suspended solids and pH were the main agents that caused obstruction of drippers operating with diluted dairy effluent. The clogging of the biofilm drippers caused reduction of F and increase of FCV, over time. The lowest levels of obstruction occurred in the drip subunits equipped with the Netafim Streamline and Netafim Super Typhoon emitters.

Keywords: water reuse; clogging; flow rate variation; emitters.

INTRODUÇÃO

Efluentes da indústria alimentícia possuem potencial de uso na agricultura, devido ao apreciável aporte de nutrientes essenciais ao desenvolvimento dos cultivos agrícolas; além disto, estes empreendimentos estão muitas vezes localizados em áreas onde se pode desenvolver algum plantio, reduzindo o custo de transporte da água utilizada na irrigação (LEVY et al., 2010).

A agricultura irrigada tem um grande impacto econômico dentro do agronegócio brasileiro, mas devido ao alto consumo de água se torna necessária a adoção de tecnologias e sistemas que racionalize o uso do recurso nessa atividade. A associação do uso de águas residuárias com a escolha do melhor método de irrigação se traduzem em ganho ambiental, desde que haja viabilidade técnica e econômica (PLETSCH et al., 2009).

O sistema de irrigação por gotejamento, apesar de sua elevada eficiência na aplicação de efluentes e baixo risco de contaminação ambiental, no momento da disposição desse resíduo líquido no solo, se mostra muito vulnerável ao entupimento em relação à irrigação por aspersão e por superfície (BATISTA et al., 2012; BATISTA et al., 2013; FERNANDES et al., 2014). O sistema tem como variáveis

as características de fabricação dos emissores (DEHGHANISANIJ et al., 2005; CARARO et al., 2006; MARTINS et al., 2010) e a qualidade do fluido utilizado, fundamentalmente em relação a sua composição físico-química e biológica (BATISTA et al., 2006; BATISTA et al., 2007; BATISTA et al., 2011; BATISTA et al., 2014).

Com relação ao uso de água residuária, a principal causa de entupimento dos gotejadores, consiste na bioincrustação formada nos dispositivos internos dos emissores, afetando, assim os indicadores de desempenho hidráulico e eficiência de aplicação do efluente pelo equipamento (SONG et al., 2017) e, conseqüentemente, a produtividade do cultivo agrícola explorado.

Nos trabalhos de Fernandes et al. (2014) e Silva et al. (2013) destacam-se os indicadores de desempenho hidráulico vazão e coeficiente de variação da vazão para a detecção dos níveis de obstrução em gotejadores que aplicam águas residuárias.

Fernandes et al. (2014) notaram redução de até 42% na vazão dos gotejadores utilizados na aplicação de água residuária da castanha de caju durante 160 h; enquanto Silva et al. (2013) trabalharam com o mesmo tipo de efluente, evidenciaram aumento do coeficiente de variação de vazão, atingindo

OBSTRUÇÃO DE GOTEJADORES OPERANDO COM EFLUENTE DE LATICÍNIOS DILUÍDO

valores de até 44% na unidade gotejadora com pressão de serviço de 70 kPa, em função da formação de biofilme nos gotejadores não autocompensantes.

Diante o exposto, este trabalho analisou a qualidade da diluição de uma parte de efluente de laticínios em duas partes de água de abastecimento público, em relação ao risco de obstrução de emissores, assim como, também, estudou a alteração dos indicadores de desempenho hidráulico vazão (Q) e coeficiente de variação de vazão (CVQ) em unidades gotejadoras montadas em escala laboratorial.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Poluição e Degradação do Solo (LPDS), localizado no Setor de Solos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5° 12' 12,31" de latitude sul, 37° 19' 27,72" de longitude oeste e, altitude de 37 m acima do nível do mar.

No LPDS /UFERSA montou-se uma bancada experimental com área útil de 3,5 m², sendo 1,4 m de largura por 2,5 m de comprimento, onde foram sorteadas cinco subunidades gotejadoras. Para a recirculação da água residuária na bancada, foi utilizado um declive de 2,0% no sentido

do comprimento. A mesma é composta por um reservatório plástico de 0,062 m³, uma motobomba centrífuga de 0,5 cv, um filtro de tela com aberturas de 130 µm, dois manômetros analógicos, dois pontos para coleta de amostras do efluente, um hidrômetro de 1,5 m³ h⁻¹, uma tubulação principal em PVC de 32 mm, uma tubulação de derivação em PVC de 50 mm e cinco unidades gotejadoras, sorteadas ao acaso (Figura 1 A e B). Cada unidade de irrigação foi composta por quatro linhas laterais com 2,5 m de comprimento, de 16 mm, dotada de apenas um tipo de gotejador.

Nos ensaios experimentais utilizaram-se como fluídos circulantes a água residuária de laticínios, oriunda de um empreendimento localizado no município de Mossoró-RN (5°11'44,65" S e 37° 18' 36,04" O) e a água de abastecimento público, oriunda da rede da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

Neste trabalho efetuou-se a diluição de uma parte de efluente de laticínios em duas partes de água de abastecimento público, obtendo-se fluído circulante com proporção 1:2, com a finalidade de reduzir a viscosidade do resíduo bruto e possibilitar o seu bombeamento por equipamentos convencionais. As linhas laterais apresentam gotejadores com as características descritas na Tabela 1 e na Figura 2.

A unidade gotejadora foi composta por cinco subunidades gotejadoras, sendo

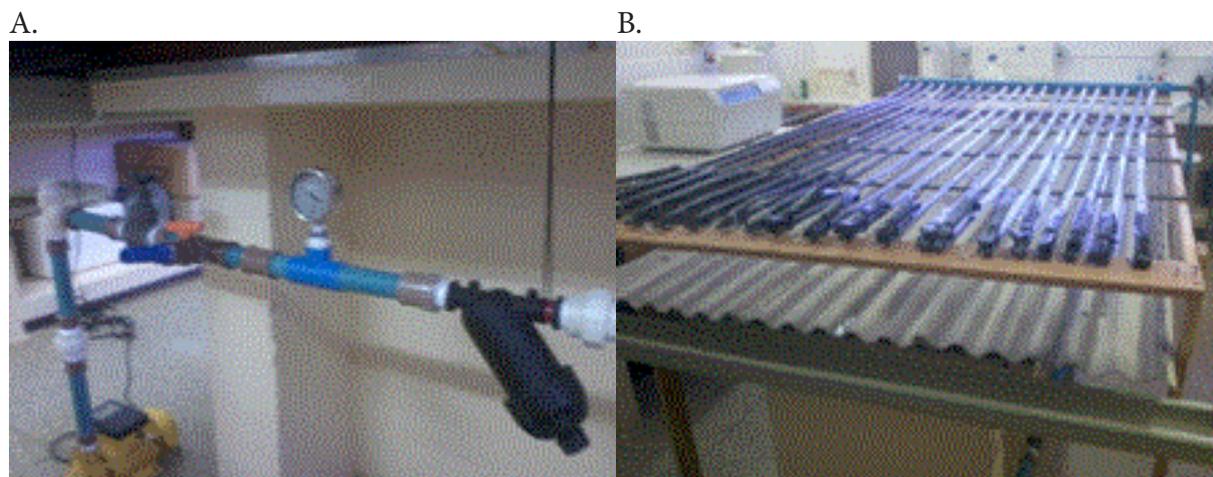


Figura 1. Imagens da bancada experimental, destacando a motobomba, o manômetro e o filtro de tela (A), bem como as linhas laterais das unidades gotejadoras (B).

Tabela 1. Características dos gotejadores utilizados para aplicação do efluente de laticínios diluído.

Fabricante	DA*	VN ¹ *	AF*	CL*	FP*	EE
		(L h ⁻¹)	(mm ²)	(mm)	(kPa)	(m)
Netafim Streamline (G1)	Não	1,60	17,0	13	65 a 100	0,30
Netafim Tiran (G2)	Não	2,00	70,0	75	100 a 300	0,40
Netafim PCJ CNJ (G3)	Sim	2,00	2,0	35	50 a 400	0,20
NaanDanJain TalDrip (G4)	Não	1,70	6,0**	44**	50 a 300	0,20
Netafim Super Typhoon (G5)	Não	1,60	34,0	23	60 a 100	0,30

DA – Dispositivo autocompensante; VN – Vazão nominal; AF – Área de filtragem; CL – Comprimento do labirinto; FP – Faixa de pressão; EE – Espaçamento entre emissores.

Nota: ¹ Vazão nominal dos gotejadores na pressão de serviço de 100 kPa; * Informações obtidas nos catálogos dos fabricantes. CNJ - sistema anti-drenante; e ** Informações medidas com auxílio de um paquímetro digital tendo precisão de 0,01 mm.

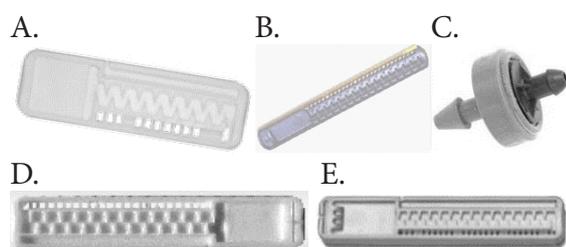


Figura 2. Imagem dos gotejadores G1 (A), G2 (B), G3 (C), G4 (D) e G5 (E) utilizados na aplicação do efluente de laticínios diluído.

uma para cada tipo de gotejador. Em cada subunidade gotejadora foram destacados 20 gotejadores, sendo cinco por linha lateral equidistantes, para avaliação do desempenho hidráulico. Durante todo o período experimental, a temperatura ambiente do laboratório foi controlada para que o fluido circulante apresentasse temperatura dentro da faixa de $23 \pm 3^\circ\text{C}$ estabelecida pela NBR ISO 9261 (ABNT, 2006) para ensaios com gotejadores.

As subunidades gotejadoras funcionaram quatro horas por dia, durante sete dias da semana até completar-se o tempo de funcionamento de 200 h, operando na pressão de serviço de 100 kPa; adotou-se esse período de operação em função do estudo de Batista et al. (2014), que detectaram perda significativa no desempenho hidráulico de unidades gotejadoras que aplicaram água residuária de suinocultura durante 160 h.

O desempenho hidráulico de cada unidade gotejadora foi obtido com a medição da vazão de 20 gotejadores a cada 40 h de operação, coletando-se o volume

aplicado por cada gotejador, durante três minutos, e quantificando-se esse volume em proveta de 100 mL; por fim empregaram-se as equações 1 e 2 no cálculo da vazão (Q) e do coeficiente de variação de vazão (CVQ).

$$Q = \frac{\text{Vol}}{1000 \cdot \text{tem}} \cdot 60 \quad (1)$$

em que: Q - vazão de cada gotejador (L h⁻¹); Vol - volume de efluente coletado em cada gotejador (mL); e, tem - tempo de coleta do efluente em cada gotejador (minutos).

$$\text{CVQ} = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n_e - 1}}}{\bar{q}} \quad (2)$$

em que: CVQ - coeficiente de variação da vazão em cada unidade gotejadora (%); q_i - vazão de cada gotejador (L h⁻¹); \bar{q} - vazão média dos gotejadores em cada unidade gotejadora (L h⁻¹); e, n_e - número de gotejadores avaliados.

Paralelamente a determinação do desempenho hidráulico das unidades gotejadoras, realizou-se a caracterização físico-química e microbiológica do efluente de laticínios diluído, também a cada 40 h de operação, empregando as metodologias do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (RICE et al., 2012).

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA, onde determinaram-se as concentrações de

**OBSTRUÇÃO DE GOTEJADORES OPERANDO
COM EFLUENTE DE LATICÍNIOS DILUÍDO**

RESULTADOS E DISCUSSÕES

sólidos dissolvidos (SD) pela diferença entre as concentrações dos sólidos totais (ST) quantificadas pelo método gravimétrico, e as concentrações dos sólidos suspensos (SS), também obtidas pelo método gravimétrico com o uso de membranas de fibra de vidro tendo aberturas de 0,45 μm ; o potencial Hidrogeniônico (pH) foi medido com auxílio de um peagâmetro de bancada; condutividade elétrica (CE) foi quantificada com condutivímetro de bancada; as concentrações de ferro total (Fe) e manganês total (Mn) foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica; e as concentrações de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) foram obtidas pelo método titulométrico.

Os níveis populacionais dos coliformes totais foram obtidos no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFERSA, utilizando o teste comercial, auto-análise Colilert (AC), baseado na tecnologia dos substratos definidos.

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado com dois fatores a serem estudados, o primeiro inerente aos tipos de gotejadores (G1, G2, G3, G4 e G5) e o segundo os tempos de operação (0, 40, 80, 120, 160 e 200 h).

Os dados de qualidade do efluente de laticínios diluído foram analisados por meio da estatística descritiva através da determinação da média e desvio padrão.

Durante o período de ensaios de 200 h, o pH do efluente de laticínios diluído variou de 7,30 (0 h) a 7,94 (120 h), tendo como média 7,67 (Tabela 2); semelhante ao valor de 7,61 encontrado por Silva et al. (2013) em água residuária da castanha do caju. Em relação ao risco de entupimento dos gotejadores, com exceção do tempo inicial (0 h), todos os valores de pH apresentaram valores superiores ao limite de 7,5, recebendo a classificação severa estabelecida por Nakayama et al. (2006), corroborando com os resultado obtidos por Silva et al. (2013) com água residuária da castanha do caju coletada a cada 20 h, durante 160 h de operação das unidades gotejadoras. No entanto, esse resultado difere do encontrado por Batista et al. (2014) com água residuária da suinocultura, onde o risco de obstrução de gotejadores para o pH foi classificado como moderado.

A CE variou de 1,19 (40 e 80 h) a 1,33 dS m^{-1} (0 h), apresentando média de 1,24 dS m^{-1} no período experimental (Tabela 2); esses valores são inferiores aos da água residuária da castanha de caju apresentado por Fernandes et al. (2014). Empregando-se o critério estabelecido por Capra e Scicolone (1998), a CE ao longo de todo o período experimental ficou dentro

Tabela 2. Características físico-químicas e microbiológicas do fluido circulante composto por uma parte de efluente de laticínios diluída em duas partes de água de abastecimento público, e respectiva média e desvio padrão.

Características	Tempo de operação (h)						Média	Desvio-padrão
	0	40	80	120	160	200		
pH	7,30	7,61	7,60	7,94	7,86	7,70	7,67	0,23
CE (dS m^{-1})	1,33	1,19	1,19	1,30	1,23	1,21	1,24	0,06
SS (mg L^{-1})	380	380	480	660	340	120	393	177
SD (mg L^{-1})	1208	840	704	760	972	1088	929	196
Ca^{2+} (mmolc L^{-1})	0,40	0,50	1,00	1,00	1,10	1,20	0,87	0,33
Mg^{2+} (mmolc L^{-1})	0,50	0,30	1,40	1,20	0,90	2,20	1,08	0,69
Fe (mg L^{-1})	0,138	0,130	0,126	0,206	0,279	0,324	0,20	0,08
Mn (mg L^{-1})	0,066	0,062	0,076	0,071	0,093	0,051	0,070	0,01
CT (NMP 100 mL^{-1})	$5,59 \times 10^5$	$1,78 \times 10^5$	$4,73 \times 10^5$	$2,18 \times 10^5$	$3,10 \times 10^5$	$9,05 \times 10^5$	$3,77 \times 10^5$	1,84

Nota: pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; SS – sólidos suspensos; SD – sólidos dissolvidos; Ca^{2+} - cálcio; Mg^{2+} - Magnésio; Fe - Ferro total; Mn – Manganês total; CT – Coliformes totais; NMP – Número Mais Provável. * Média e desvio padrão geométrico.

da faixa de 0,8 a 3,1 dS m⁻¹, sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como moderado. Este resultado diverge do encontrado por Fernandes et al. (2014), onde os risco de obstrução da CE sempre foi classificada como severo, durante todo o período experimental.

As concentrações de SS variaram de 120 (200 h) a 660 mg L⁻¹ (120 h), tendo desvio padrão de 177 mg L⁻¹; essa maior variação é atribuída aos tipos de produtos lácteos (leite pasteurizado, doce de leite, requeijão, queijo coalho, queijo minas frescal, bebida láctea e manteiga do sertão) produzidos no empreendimento no momento da coleta do efluente. Todos os teores de SS foram superiores ao limite de 100 mg L⁻¹ estabelecido por Nakayama et al. (2006), classificando, assim, o risco de entupimento de gotejadores como severo. A concentração média de SS do presente estudo foi inferior a de 333 mg L⁻¹ detectada por Batista et al. (2014) para água residuária da suinocultura, também apresentando risco severo de obstrução dos gotejadores.

Os teores de SD contidos no efluente oscilaram de 704 (80 h) e 1208 mg L⁻¹ (0 h), apresentando, também, elevado desvio padrão (196 mg L⁻¹), devido a alternância no uso de produtos de limpeza utilizados nas atividades de higienização das instalações do empreendimento. Como todas as concentrações de SD ficaram dentro da faixa de 500 a 2000 mg L⁻¹ proposta por Nakayama et al. (2006), o risco de obstrução de gotejadores foi classificado como moderado. Estes resultados diferem dos encontrados por Silva et al. (2013) para água residuária da castanha de caju, onde o valor médio de SD foi de 2344 mg L⁻¹, tendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como severo.

As concentrações de Ca²⁺ variaram de 0,40 (0 h) a 1,20 mmol_c L⁻¹ (120 h), durante o funcionamento do sistema, tendo o valor médio de 0,87 mmol_c L⁻¹. De acordo com Capra e Scicolone (1998), o risco de obstrução de gotejadores referente ao Ca²⁺ presente na água residuária utilizada

foi classificado como baixo, uma vez que se apresentou menor que 12,5 mmol_c L⁻¹. Corroborando com Silva et al. (2013) que, também, classificaram o risco de obstrução de gotejadores do Ca²⁺ como baixo em água residuária da castanha de caju.

Com relação aos teores de Mg²⁺, os valores oscilaram de 0,30 (40 h) a 2,20 mmol_c L⁻¹ (200 h), sendo o valor médio de 1,08 mmol_c L⁻¹. Segundo Capra e Scicolone (1998), o risco de obstrução de gotejadores foi classificado como moderado (2,0 a 7,3 mmol_c L⁻¹), apenas no tempo de 200 h, enquanto nos demais tempos o risco de obstrução foi classificado como baixo (2 mmol_c L⁻¹). Semelhantemente, Batista et al. (2014) classificaram o risco de obstrução de gotejadores para o Mg²⁺, como moderado, na água residuária da suinocultura.

Com relação à concentração de Fe, os valores ao longo do período experimental oscilaram entre 0,126 e 0,324 mg L⁻¹, sendo o valor médio de 0,20 mg L⁻¹. De acordo com Nakayama et al. (2006), os teores de Fe nos tempos 0, 40 e 80 h foram inferiores ao valor limite de 0,20 mg L⁻¹, apresentando baixo risco de obstrução de gotejadores; enquanto nos demais tempos, o teores de Fe ficaram dentro da faixa de 0,2 a 1,5 mg L⁻¹, apresentando risco de obstrução classificado como moderado. Esses resultados corroboram com os de Silva et al. (2013), que classificaram o risco de obstrução de gotejadores para o Fe, como moderado, na água residuária da castanha de caju.

A concentração de Mn oscilou de 0,051 (200 h) a 0,093 mg L⁻¹ (160 h), apresentando média de 0,07 mg L⁻¹. Em nenhum momento os valores de Mn foram superiores ao limite de 0,1 mg L⁻¹ estabelecido por Nakayama et al. (2006), classificando o risco de obstrução dos gotejadores como baixo. Estes resultados divergem dos obtidos por Batista et al. (2014) que classificaram o risco de obstrução de gotejadores para o Mn, como moderado, na água residuária da suinocultura.

Os níveis populacionais de CT presentes no efluente, oscilaram de 1,78x10⁵

**OBSTRUÇÃO DE GOTEJADORES OPERANDO
COM EFLUENTE DE LATICÍNIOS DILUÍDO**

a $9,05 \times 10^5$ NMP 100 mL^{-1} , apresentando média geométrica de $3,77 \times 10^5$ 100 mL^{-1} . Conforme a classificação de Nakayama et al. (2006), o nível populacional de CT, ao longo do período experimental, se mostrou inferior ao limite de 1×10^6 NMP 100 mL^{-1} , classificando, assim, o risco de obstrução de gotejadores como baixo; esses menores níveis populacionais de CT em relação a outras águas residuária, podem ser atribuídos a presença de materiais de limpeza tais como hipoclorito de sódio e soda caustica, empregados na limpeza das instalações do empreendimento. Estes resultados divergem dos obtidos por Batista et al. (2014) que encontraram risco severo de obstrução de gotejadores, na água residuária da suinocultura, com relação a população bacteriana.

Na Figura 3 e na Tabela 3 estão apresentadas as vazões (Q) correspondentes aos cinco tipos de gotejadores (G1, G2, G3, G4 e G5) avaliados durante o período experimental. Nos tempos de funcionamento inicial (0 h), os mesmos apresentaram-se com valores de Q de $1,60 \text{ L h}^{-1}$ para G1, $1,98 \text{ L h}^{-1}$ para G2, $2,01 \text{ L h}^{-1}$ para G3, $1,68 \text{ L h}^{-1}$ para G4 e $1,62 \text{ L h}^{-1}$ para G5. Todavia, durante o período de operação, constataram-se oscilações nos valores de Q atribuídas ao processo de desobstrução aleatória. Variações na vazão ocorreram, no caso do G1, às 120 h com $1,41 \text{ L h}^{-1}$ apresentando aumentos de $1,44$ e $1,53 \text{ L h}^{-1}$ (160 e 200h); no G2 esse aumento ocorreu às 120 h com $1,66 \text{ L h}^{-1}$; no G3 às 80 h com

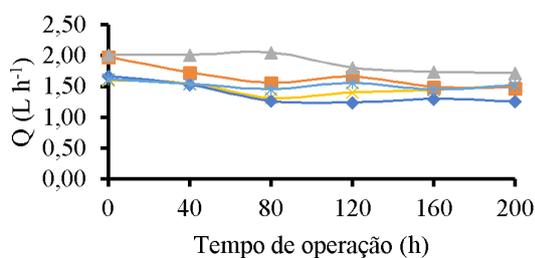


Figura 3. Valores médios da vazão (Q em L h^{-1}) das subunidades gotejadoras para o fator tipo de emissor dentro de cada nível de tempo de funcionamento.

Tabela 3. Valores médios da vazão dos emissores (Q), ao longo do período experimental, das unidades gotejadoras dotadas dos emissores G1 a G5 e operando com efluente de laticínio diluído.

Tempo de operação (h)	Vazão dos gotejadores (Q em L h^{-1})				
	G1	G2	G3	G4	G5
0	1,60	1,98	2,01	1,68	1,62
40	1,55	1,73	2,01	1,53	1,55
80	1,32	1,57	2,05	1,27	1,46
120	1,41	1,66	1,81	1,24	1,56
160	1,44	1,50	1,74	1,30	1,45
200	1,53	1,48	1,72	1,26	1,53

um aumento para $2,05 \text{ L h}^{-1}$, decrescendo em seguida; no G4 às 160 h com $1,30 \text{ L h}^{-1}$, decaindo ao longo do tempo; enquanto que no G5 ocorreram variações a partir das 120 h com $1,56 \text{ L h}^{-1}$, decrescendo ($1,45 \text{ L h}^{-1}$ às 160 h) e aumentando ($1,53 \text{ L h}^{-1}$ às 200 h), consecutivamente.

Cunha et al. (2006) evidenciaram a desobstrução aleatória de gotejadores, que operaram com água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro, decorrente da saída de material gelatinoso de obstrução, de variações da qualidade da água ou da temperatura ambiente. Batista et al. (2007), associou a desobstrução aleatória de alguns gotejadores a possíveis movimentos bruscos sobre as linhas laterais, abastecidas com água residuária da despolpa do fruto do cafeeiro.

Estabelecendo comparação entre os tempos de funcionamento inicial (0 h) e final (200 h), constatou-se que os valores de Q foram reduzidos em 18, 25, 14, 26 e 10% nas unidades gotejadoras dotadas dos emissores G1, G2, G3, G4 e G5, respectivamente; este fato é atribuído provavelmente a formação de biofilme, dentro dos gotejadores, resultante da interação entre os precipitados químicos (pH com severo risco de obstrução, e CE e SD com moderado risco), sólidos suspensos (severo risco de obstrução) e a população bacteriana que pode ter surgido dentro dos gotejadores. A formação de biofilme dentro dos gotejadores é relatada por Cunha et al. (2006) Batista et al. (2007) em unidades

gotejadoras operando com água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro; por Batista et al. (2011) e Batista et al. (2013) em unidades gotejadoras aplicando água residuária doméstica; por Batista et al. (2014) em unidades gotejadoras operando com água residuária da suinocultura; e por Silva et al. (2013) e Fernandes et al. (2014) em unidades gotejadoras aplicando água residuária da castanha de caju.

Redução nos valores de Q de unidades gotejadoras, após 160 h de funcionamento, também foram detectadas por Fernandes et al. (2014) trabalhando com água residuária da castanha de caju, que apresentou decréscimos de 42, 1 e 6% nas pressões de serviço de 70, 210 e 280 kPa, respectivamente, para o gotejador G1 (Plastro Hydrodrip Super); de 8, 10, 4 e 10% para G2 (Netafim PCJ-CNJ) e de 6, 8, 5 e 5% para G3 (Netafim PCJ-CNJ), a pressões de 70, 140, 210 e 280 kPa.

As obstruções causadas por fatores físico-químicos geralmente resultam de partículas inorgânicas em suspensão e orgânicas e, da precipitação de sais de cálcio, magnésio, ferro ou manganês, formando incrustações que podem bloquear, parcial ou completamente a passagem da água. Já as biológicas, se originam de pequenos organismos aquáticos, como larvas, algas, fungos e bactérias que passam através dos filtros e se desenvolvem formando colônias no interior das tubulações que tem seu crescimento favorecido por condições de repouso, iluminação, temperatura, entre outros (CARVALHO et al., 2015).

Percebeu-se na Figura 4 e Tabela 4 que os valores de CVQ de todos os gotejadores estudados aumentaram em relação ao tempo de operação inicial (0 h), em virtude do entupimento parcial com biofilme. Os dois maiores valores de CVQ ocorreu nas subunidades gotejadoras dotadas dos emissores G4 e G3 nos tempos de operação de 160 e 120 h, respectivamente. Os gotejadores G1, G3, G4 e G5 não apresentaram os maiores níveis de obstrução ao final do período experimental (200

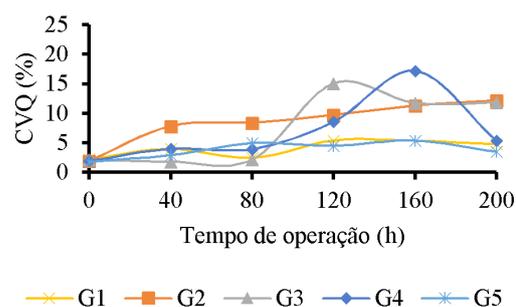


Figura 4. Valores médios do Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ em %) das subunidades gotejadoras para o fator tipo de emissor dentro de cada nível de tempo de funcionamento.

Tabela 4. Valores do coeficiente de variação de vazão (CVQ), ao longo do período experimental, das subunidades gotejadoras dotadas dos emissores G1 a G5 e operando com efluente de laticínio diluído.

Tempo de operação (h)	Vazão de variação de vazão (CVQ em %)				
	G1	G2	G3	G4	G5
0	2,24	1,99	2,18	1,93	1,81
40	4,01	7,87	1,80	4,01	2,95
80	2,46	8,44	2,20	3,94	4,96
120	5,42	9,76	15,08	8,60	4,53
160	5,37	11,33	11,75	17,20	5,39
200	4,82	12,25	11,82	5,36	3,49

h), em função da ocorrência do processo de desobstrução aleatória retratado por Cunha et al. (2006) e Batista et al. (2007) em unidades gotejadoras operando com água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro.

A norma ASAE EP 405 (ASABE STANDARDS, 2003), sugere para a classificação do CVQ os seguintes valores: menor que 10% bom, entre 10 e 20% razoável e, maior que 20% inaceitável. Desta forma ao analisar a Figura e a Tabela 4, verificou-se que grande parte dos valores de CVQ das subunidades gotejadoras estudadas, principalmente em relação aos emissores G1 e G5 que não apresentaram valores de CVQ superiores a 6%, foram inferiores a 10%, sendo classificados pela ASAE EP 405 como bons, ao longo de todo o período experimental. Todavia, entre os tempos de 160 e 200 h para o emissor G2, 120 e 200 h para o emissor G3

OBSTRUÇÃO DE GOTEJADORES OPERANDO COM EFLUENTE DE LATICÍNIOS DILUÍDO

e, de 160 h para o emissor G4, os valores de CVQ oscilaram entre 11 e 17%, fato que os classificou como razoáveis.

Esses resultados diferem dos apresentados por Silva et al. (2013) com água residuária da castanha de caju, onde as unidades gotejadoras com emissor G1 (1,65 L h⁻¹ não autocompensante), submetidas às pressões de serviço de 70, 140, 210 e 280 kPa, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, apresentaram valores de CVQ de 5 e 44%; 3 e 5%; 6 e 7%; e 5 e 2%, respectivamente. Constataram, também, que no tempo de funcionamento de 160 h, o valor de CVQ da unidade gotejadoras submetida à pressão de serviço de 70 kPa P1 foi superior a 20%, recebendo, assim, a classificação inaceitável, segundo a norma ASABE EP 405 (ASABE STANDARDS, 2003); enquanto os demais valores de CVQ das unidades de irrigação foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons.

Estabelecendo comparação entre os tempos de funcionamento inicial (0 h) e final (200 h) do experimento com água residuária de laticínios diluída em água de abastecimento, constatou-se que os valores de CVQ foram aumentados em um pouco mais de 3% em G1 e G5, 10% em G2, aproximadamente 13% em G3 e 15% em G4. Juchen et al. (2013), cita que esta variação pode ser influenciada pela menor qualidade do efluente e, também, por sua maior carga orgânica ou por outra característica físico-química impactantes às unidades gotejadoras estudadas, como, por exemplo, a alta presença de sais e de sólidos suspensos derivados dos diversos produtos lácteos produzidos no empreendimento.

CONCLUSÕES

De acordo com as diretrizes internacionais os atributos sólidos suspensos e pH foram os principais agentes ocasionadores de obstrução de gotejadores que operam com efluente de laticínios diluído.

O entupimento dos gotejadores com biofilme acarretou redução da vazão e aumento do coeficiente de variação da vazão, ao longo do tempo.

Os maiores níveis de entupimento não ocorrem ao final do período experimental para todos os tipos de gotejadores.

Os menores níveis de obstrução ocorreram nas subunidades gotejadoras dotadas dos emissores G1 (Netafim Streamline) e G5 (Netafim Super Typhoon).

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e à FINEP pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE EP 405. **Design and installation of microirrigation systems.** ASAE Standards, St. Joseph, p.900-905, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Equipamentos de irrigação agrícola - Emissores e tubos emissores - Especificações e métodos de ensaio.** ABNT NBR ISO 9261. São Paulo: ABNT, 2006. 17p.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; EUCLIDES, R. M. de A. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores mediante a aplicação de esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, v.14, n.2, p. 81-87, 2006.

BATISTA, R. O.; MATOS, A. T.; CUNHA, F. F.; LO MONACO, P. A. Formação de biofilme em gotejadores aplicando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro despolpa dos frutos do cafeeiro.

Acta Scientiarum. Agronomy, v.29, n.3, p. 367-371, 2007.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MOREIRA, D. A.; FEITOSA, A. P.; BEZERRA, J. M. Influência de diferentes qualidades de esgoto doméstico na vazão de gotejadores. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p. 128-134, 2011.

BATISTA, R. O.; SILVA, K. B.; OLIVEIRA, R. A.; B. FILHO, S.; DIAS, N. S. Desempenho hidráulico de sistema de irrigação por gotejamento aplicando água residuária de suinocultura. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.8, n.3, p. 105-111, 2012.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. dos; OLIVEIRA, A. de F. M.; AZEVEDO, C. A. V. de; MEDEIROS, S. de S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.7, p.698-705, 2013.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; FIGUEIREDO, V. B.; SILVA, K. B.; FERREIRA, D. A. C. Vazão de gotejadores com distintos tempos de irrigação aplicando água residuária de suinocultura e água de abastecimento. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.6, p. 1283-1295, 2014.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickte irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.70, n.4, p. 355-365, 1998.

CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, v.22, n.2, p. 251-257, 2006.

CARVALHO, L. C.C.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M.B.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. Tubos

gotejadores convencionais submetidos a aplicação de óxido de ferro via água com carga orgânica e sólidos suspensos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n.2, p.32-41, 2015.

CUNHA, F. F.; MATOS, A. T.; BATISTA, R. O.; LO MONACO, P. A. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, n.1, p.143-147, 2006.

DEHGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; OULD AHMAD, B. V.; FUJIYAMA, H.; MIYAMOTO, K. 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.

FERNANDES, R. K. A.; BATISTA, R. O.; SILVA, S. K. C.; OLIVEIRA, J. F.; PAIVA, L. A. L. Vazão de gotejadores aplicando água residuária da castanha de caju. **Irriga**, v.19, n.4, p.585-597, 2014.

JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; BOAS, M. A. V. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias agroindustriais. **Irriga**, v.18, n.1, p.243-256, 2013.

LEVY, G.; FINE, P.; BAR-TAL, A. (Eds.). **Treated Wastewater in Agriculture: Use and impacts on the soil environments and crops**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010. 464p.

MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; REIS, E. F. Aplicação de cloro orgânico no tratamento de tubogotejador utilizado na irrigação com água ferruginosa. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, n.1, p.1-5, 2010.

NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: Lamm, F. R.; Ayars, J. E.; Nakayama, F. S. **Microirrigation for**

OBSTRUÇÃO DE GOTEJADORES OPERANDO
COM EFLUENTE DE LATICÍNIOS DILUÍDO

crop production: design, operation, and management. Amsterdam: Elsevier, cap. 11, p. 389-430, 2006.

PLETSCH, T. A.; CRUZ, R. L.; MAZZER, H. R.; OLIVEIRA, E. F. Desempenho de gotejadores com uso de esgoto doméstico tratado. *Irriga*, v.14, n.2, p.243-253, 2009.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

SILVA, K. B.; SILVA JÚNIOR, M. J.; BATISTA, R. O.; SANTOS, D. B.; BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. *Revista Ceres*, v.60, n.3, p.339-346, 2013.

SONG, P.; LI, Y.; ZHOU, B.; ZHOU, C.; ZHANG, Z.; LI, J. Controlling mechanism of chlorination on emitter bio-clogging for drip irrigation using reclaimed water. *Agricultural Water Management*, v.184, n.1, p.36-45, 2017.