

DESEMPENHO HIDRÁULICO E PREVENÇÃO DE ENTUPIMENTO DE GOTEJADORES OPERANDO COM EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO¹

KETSON BRUNO DA SILVA²; RAFAEL OLIVEIRA BATISTA²; JEANE CRUZ PORTELA²; DANIELA DA COSTA LEITE COELHO²; FERNANDA LIMA CAVALCANTE³ E BLAKE CHARLES DINIZ MARQUES²

¹ Trabalho oriundo da Tese de Doutorado do primeiro autor.

² Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA câmpus Mossoró, Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais, Avenida. Francisco Mota, nº 572, Presidente Costa e Silva, 59625-90, Mossoró, RN, Brasil. E-mail: ketsonbruno@hotmail.com, rafaelbatista@ufersa.edu.br, jeaneportela@ufersa.edu.br, daniela.coelho@ufersa.edu.br, charles@ufersa.edu.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, IFRN câmpus Mossoró, Rua Raimundo Firmino de Oliveira, nº 400, Conjunto Ulrick Graff, Mossoró, RN, Brasil. E-mail: fernanda.lima@ifrn.edu.br

1 RESUMO

Objetivou-se com este trabalho analisar o comportamento da redução da vazão relativa (RQR) de gotejadores operando com efluente doméstico tratado, bem como a prevenção do entupimento com tratamento biológico. Foram montadas duas bancadas experimentais em área localizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para avaliação, a cada 80h, do desempenho hidráulico e do entupimento de quatro tipos de gotejadores, aplicando água residuária doméstica tratada (ARDT), perfazendo um total de 400h. Foi calculada a RQR como indicador de desempenho hidráulico. O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas quatro níveis de tratamento biológico, nas subparcelas quatro tipos de gotejadores, e nas subsubparcelas seis períodos das avaliações. Em cada tempo, foram feitas análises físico-químicas e microbiológicas da ARDT. Os resultados indicaram que os modelos de regressão quadrático e cúbico foram os que melhor explicaram a relação entre as variáveis RQR e o tempo de operação das unidades gotejadoras. As características ferro, sólidos dissolvidos e suspensos, cálcio e pH predominaram nos modelos empíricos dos quatro tipos de gotejadores. Não houve efeito significativo do tratamento biológico ensaiado.

Palavras-chave: desobstrução, emissores, resíduo líquido.

**SILVA, K. B.; BATISTA, R. O.; PORTELA, J. C.; COELHO, D. C. L.;
CAVALCANTE, F. L.; MARQUES, B. C. D.
HYDRAULIC PERFORMANCE AND PREVENTION OF CLOGGING OF
DRIPPERS OPERATING WITH TREATED DOMESTIC EFFLUENT**

2 ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the behavior of the relative flow reduction (RQR) of drippers operating with treated domestic effluent, as well as the prevention of clogging with biological treatment. Two experimental stands were set up in an area located at the

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, to evaluate, every 80h, the hydraulic performance and the clogging of four types of drippers, applying treated domestic wastewater (ARDT), for a total of 400h. The RQR was calculated as an indicator of hydraulic performance. The experiment was set up in a sub - divided plots scheme, with four levels of biological treatment, four types of drippers in subplots, and six periods of evaluations in the subplots. At each time, physical-chemical and microbiological analyzes of the ARDT were made. The results indicated that the quadratic and cubic regression models were the ones that best explained the relationship between the RQR variables and the operating time of the dripper units. Iron, dissolved and suspended solids, calcium and pH characteristics predominated in the empirical models of the four types of drippers. There was no significant effect of the biological treatment assayed.

Keywords: unclogging, emitters, liquid waste.

3 INTRODUÇÃO

Ao tratar da necessidade de preocupação ambiental e atuar em prol dos recursos naturais, destaca-se atenção a um elemento fundamental para a manutenção da biodiversidade, a água, um recurso abundante, mas finito.

Nas últimas décadas, houve um incremento bastante promissor sobre a gestão e uso de águas residuárias na agricultura, em razão dos seguintes fatores: constitui uma prática de reciclagem de água; prática de reciclagem de nutrientes, proporcionando economia de insumos (fertilizantes); minimiza o lançamento de esgotos em cursos de águas naturais, prevenindo assim a poluição, a contaminação e a eutrofização; favorece a conservação do solo (CONDÉ et al., 2012; SOARES; ANTÔNIO, 2012).

No grupo de águas residuárias incluem: os efluentes de origem doméstica e industrial, o efluente de lodo de esgoto (com mais de 95% de água), os dejetos líquidos de animais, os efluentes do processamento de frutas e vegetais; os efluentes da indústria de celulose e papel; os efluentes de agroindústrias; os efluentes de sistemas de drenagem; as águas salinas; e as águas ferruginosas (XAVIER et al., 2009).

Uma das alternativas para uso sustentável de águas residuárias é usa-la de forma planejada e correta em áreas

agricultáveis (CHEVREMONT et al., 2013). Todavia, o uso incorreto pode trazer efeitos deletérios tanto ao solo quanto à cultura (LO MONACO et al., 2009; GONÇALVES et al., 2013).

Visando atenuar os efeitos impactantes de suas atividades, o homem vem procurando adequar-se à nova realidade buscando tecnologias de menor custo para este fim. Dentre as tecnologias disponíveis para o tratamento de água residuária de origem doméstica ou destino final dos efluentes líquidos, destaca-se o método de disposição de água no solo, cuja técnica vem sendo utilizada em grande escala em vários locais do mundo, sobretudo em regiões áridas e semiáridas (SILVA; EYNG, 2013; SIMÕES et al., 2013).

Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo, avaliar o indicador de desempenho hidráulico, redução da vazão relativa, em quatro tipos de gotejadores que aplicaram efluente doméstico tratado, com quatro níveis de tratamento, durante 400h.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local da realização do experimento

O presente trabalho foi realizado, entre os meses de julho a outubro de 2015,

em área experimental no câmpus Leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN, sob coordenadas geográficas 5°12'27" de latitude sul e 37°19'21" de longitude oeste.

O município de Mossoró - RN possui altitude de 40,5 m e está localizado a 40 km do Atlântico Norte. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSw_h, sendo um clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, com uma precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 673,9 mm; a temperatura média de 27 °C e umidade relativa do ar média de 68,9 %. (ALVARES et al., 2013).

4.2 Origem e coleta da água residuária

A água residuária de origem doméstica foi coletada na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), gerenciada pela empresa Imunizadora Oeste Ltda. De acordo com Costa (2014), a ETE da Imunizadora Oeste Ltda. compreende as etapas de tratamento preliminar, tratamento secundário e tratamento terciário.

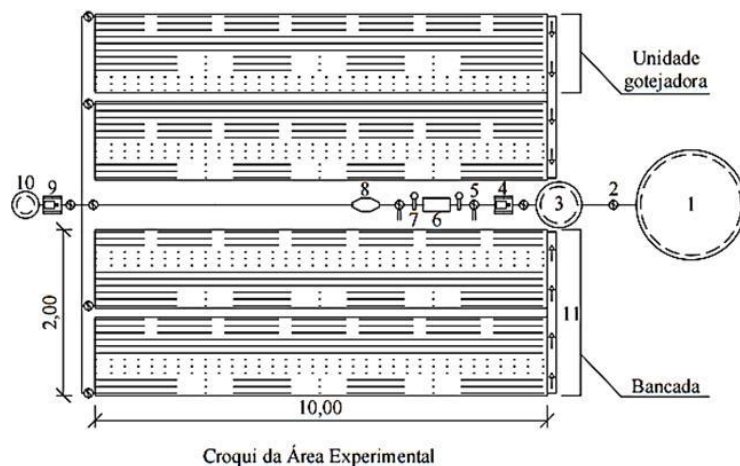
O tratamento preliminar é composto pela grade e desarenador; o tratamento secundário inclui as lagoas anaeróbia e facultativa; e o tratamento terciário compreende as lagoas de maturação. A estação recebe, em média, 60 m³ de esgoto doméstico por dia, segundo Costa et al. (2016).

A coleta do efluente foi realizada diretamente da lagoa de maturação, utilizando-se caminhão a serviço da empresa, com capacidade para 7 m³, que recalava o efluente com motobomba próprio. Na UFERSA, o efluente foi armazenado em dois reservatórios de Polietileno, um com capacidade armazenadora de 5 m³, e outro de 1 m³. O reabastecimento do reservatório repetia-se a cada vez que havia perdas de água por evaporação.

4.3 Montagem da bancada experimental

Para a realização dos ensaios foram montadas duas bancadas experimentais iguais. Cada estrutura consistia de uma base de madeira, na qual serviram de sustentação para telhas de fibrocimento onduladas.

Figura 1. Layout da bancada experimental apresentando o posicionamento das unidades de irrigação por gotejamento, dos reservatórios de efluente e solução catalisadora.



Legenda	
	Tubo com gotejador G1
	Tubo com gotejador G2
	Tubo com gotejador G3
	Tubo com gotejador G4
	Sentido do escoamento do efluente
1	Reservatório com volume de 5m ³
2	Registro de gaveta
3	Reservatório com volume de 1m ³
4	Motobomba de 1 cv
5	Registro com saída de água
6	Filtro de tela
7	Manômetro de glicerina
8	Hidrômetro
9	Motobomba de 0,5 cv
10	Reservatório com volume de 0,06 m ³
11	Calha para queda d'água

Cada bancada apresentou dois metros de largura por dez metros de comprimento, resultando em área superficial de 20 m², possuindo uma declividade vertical de 2%. Uma caneleira adaptada com tubo PVC de 100 mm de diâmetro foi instalada após o final da extremidade mais baixa da bancada, com sentido direcionado até o reservatório de armazenamento de 1m³, para recirculação do efluente.

No interior de cada bancada experimental foram montadas duas unidades gotejadoras que operaram com água residuária doméstica tratada. A bancada foi composta por um conjunto motobomba de 1 cv, para aplicação da água residuária, conjunto motobomba 0,5 cv, para aplicação da solução enzimática, um filtro de tela com abertura de 130 µm e um

hidrômetro com capacidade para 1,5 m³ h⁻¹, conforme layout apresentado na Figura 1.

Foram instalados dois manômetros analógicos de glicerina graduados de 0 a 400 kPa, para visualização e regulagem de pressão antes e após o filtro de tela.

Cada unidade gotejadora apresentava um registro de gaveta, uma linha de derivação de PVC com diâmetro nominal de 32 mm com doze conectores, para inserção de doze linhas laterais de polietileno com dez metros de comprimento, totalizando 24 linhas laterais em cada bancada.

Em cada unidade de irrigação foram ensaiados quatro tipos de gotejadores, sendo suas características obtidas de catálogos técnicos fornecidos pelos fabricantes e medidas com o auxílio de

paquímetro, conforme apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Gotejadores utilizados nos ensaios experimentais, destacando o fabricante (F), o dispositivo de autocompensão (DA), a vazão nominal (Q), o coeficiente de vazão (k), expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento (x), a área de filtragem (A), o comprimento do labirinto (L), a faixa de pressão recomendada (P) e o espaçamento entre emissores (EE).

G	F	DA*	Q ¹ * (L h ⁻¹)	k*	x*	A* (mm ²)	L* (mm)	P* (kPa)	EE* (m)
G1	Netafim Super	Não	1,60	0,53	0,48	34,0	23	60 – 100	0,30
	Typhoon								
G2	Netafim Tiran	Não	2,00	0,69	0,46	70,0	75	100 – 300	0,40
G3	Netafim Streamline	Não	1,60	0,57	0,45	17,0	13	65 – 100	0,30
G4	NaanDanJain TalDrip	Não	1,70	0,56	0,46	6,0**	44**	50 – 300	0,20

Nota:¹ Vazão nominal dos gotejadores na pressão de serviço de 100 kPa; * Informações obtidas nos catálogos dos fabricantes. PCJ – Este mantém uma vazão uniforme mesmo sob diferentes pressões de entrada, assegurando uma distribuição exata da água e nutrientes, além disto, o emissor possui amplas seções de passagem da água e constante atuação do mecanismo de auto-limpeza, que aumentam a sua resistência ao entupimento. CNJ - Sistema anti-drenante; e ** Informações obtidas com auxílio de um paquímetro digital, tendo precisão de 0,01 mm.

4.4. Avaliação das unidades gotejadoras e indicadores de desempenho

Na realização do experimento as unidades gotejadoras funcionaram, em média, oito horas por dia até completar o tempo de funcionamento de 400h. Neste período, efetuaram-se seis avaliações do desempenho hidráulico das unidades de irrigação operando com efluente de origem

doméstica, especificamente nos tempos de operação de 0, 80, 160, 240, 360 e 400h.

O desempenho hidráulico das unidades gotejadoras foi realizado determinando-se a vazão dos gotejadores, em dezesseis posições equidistantes de todas as linhas laterais. Os dados de vazão foram obtidos coletando-se o volume aplicado pelo emissor, durante um período de três minutos, o cálculo da vazão (Q) foi obtido empregando-se a Equação 1.

$$Q = \frac{V}{1000 \cdot t} \cdot 60 \quad (1)$$

Em que:

Q - vazão do cada gotejador, L h⁻¹;

V - volume coletado, mL; e,

t - tempo de coleta do efluente, min.

O indicador de desempenho hidráulico utilizado na detecção dos níveis de obstrução dos gotejadores nas unidades

de irrigação foi a redução da vazão relativa (RQR), representada pela Equação 2.

$$RQR = 100 \cdot \left[\frac{q_i - q_a}{q_i} \right] \quad (2)$$

Em que:

RQR – Redução da vazão relativa, %;

q_i - Vazão inicial, L h⁻¹; e

q_a - Vazão atual, L h⁻¹.

A pressão de serviço foi mantida no valor de 100 kPa, para obter os valores de vazões nominais nos gotejadores ensaiados. Não houve precipitação pluviométrica no período em estudado.

A cada 80h de operação das unidades gotejadoras, foram retiradas amostras da água residuária doméstica tratada para realização das análises físicas, químicas e microbiológicas, as quais foram analisadas com base no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (RICE; BAIRD; CLESCERI, 2012).

Para caracterização físico-química da água residuária doméstica tratada, as amostras foram coletadas do reservatório de efluente, em garrafas plásticas de 0,001 m³, e preservadas em refrigerador à temperatura de 4°C, no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP). Neste mesmo local foram realizadas as análises de: Potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) dS m⁻¹, sólidos suspensos (SS) mg L⁻¹, sólidos dissolvidos (SD) mg L⁻¹, cálcio (Ca²⁺) mmolc L⁻¹, magnésio (Mg²⁺) mmolc L⁻¹, manganês total (Mn) mg L⁻¹ e ferro (Fe) mg L⁻¹.

Na caracterização microbiológica da água residuária doméstica, outras amostras foram coletadas do reservatório de efluente, em recipientes esterilizados de 60 mL, imediatamente encaminhadas ao Centro de Análises Clínicas e Imunológicas de Mossoró (CACIM), para identificação e quantificação dos níveis populacionais de Coliformes Totais (CT) UFC 100 mL⁻¹.

Para prevenção de obstrução dos gotejadores, foi utilizado com auxílio de uma proveta, um produto catalisador base das enzimas amilase, protease, lipase, pectinase e celulase, que catalisam as reações de biodegradação das substâncias orgânicas, promovendo a quebra (desdobra) das moléculas orgânicas, transformando-as em frações menores originando matéria orgânica decomposta. De acordo com o fabricante, é indicado para o tratamento de águas que tem suas características naturais alteradas por dejetos humanos ou animais, com altas cargas de matéria orgânica e mineral, em solução e em suspensão, assim como elevados níveis populacionais de bactérias e outros organismos patogênicos e não patogênicos.

O produto catalisador foi aplicado a cada 80h de operação das quatro unidades gotejadoras com água residuária doméstica tratada. Para isso, foi realizada uma adaptação na bancada experimental inserindo um sistema de injeção de solução, composto por um conjunto motobomba de 0,5 cv e um depósito plástico com capacidade de 0,060m³, para armazenar a solução com bactérias.

Foram realizadas ao todo cinco aplicações, sendo a primeira, feita após 80h de funcionamento do sistema, a segunda após 160h, a terceira após 240h, a quarta após 320h e a quinta após 400h. Os tratamentos consistiam na dose do produto, medido com o auxílio de uma proveta, e misturado em 0,050 m³ de água de abastecimento público. Após a inserção de ambos dentro do depósito plástico, a calda

foi homogeneizada com auxílio de uma barra de vidro. Estas dosagens estavam dentro de uma margem que obedecia às recomendações do fabricante. Com isso os tratamentos ficaram assim divididos:

- a) **Tratamento 1** (T1): unidade gotejadora sem aplicação do produto catalisador.
- b) **Tratamento 2** (T2): 100ml do produto catalisador em 0,050m³ de água de abastecimento público.
- c) **Tratamento 3** (T3): 200ml do produto catalisador em 0,050m³ de água de abastecimento público.
- d) **Tratamento 4** (T4): 300ml do produto catalisador em 0,050m³ de água de abastecimento público.

À medida que uma unidade gotejadora recebia a dosagem do produto, as outras três tinham seus registros de gavetas fechados, para não receberem outras dosagens. Após cada aplicação do produto, deixava-se o sistema inativo por 48h para possibilitar a ação adequada das enzimas. Ocorrido isto, imediatamente as unidades gotejadoras foram submetidas a avaliação do desempenho hidráulico determinando-se a vazão do sistema (Q).

4.5 Análise estatística

O experimento foi montado em esquema de parcelas subsubdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos T1, T2, T3 e T4, nas subparcelas os tipos de gotejadores (G1, G2, G3 e G4) e nas subsubparcelas os períodos das avaliações (0, 80, 160, 240, 360 e 400 h).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) empregando-se o teste F a 5% de probabilidade. As médias foram comparadas empregando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os modelos de regressão simples e múltipla foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, aplicando-se o

teste t num nível de até 10%, no coeficiente de determinação ($\geq 60\%$) e no processo em estudo.

Nas análises estatísticas dos dados utilizou-se o programa computacional Sistema para Análises Estatísticas Versão 9.1 (RIBEIRO JÚNIOR; MELO, 2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária

As características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária doméstica tratada (ARDT) estão apresentadas na Tabela 2, enquanto, que a Tabela 3 apresenta os resultados da estatística descritiva destas características.

O valor médio do potencial hidrogeniônico (pH) da ARDT situou-se dentro da faixa de 5 a 9, estabelecida pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), que delimita os padrões para lançamento de águas residuárias domésticas e sanitárias tratadas nos corpos hídricos nacionais. No entanto, o risco de obstrução de gotejadores foi considerado como severo, pois o valor médio do pH no efluente foi superior ao limite de 7,5 estabelecido por Nakayama, Boman e Pitts (2006).

A condutividade elétrica (CE) média no efluente apresentou valor superior ao limite de 3,0 dS m⁻¹ para reuso de água em cultivos agrícolas (CEARÁ, 2017), apresentando, também, risco severo de obstrução de gotejadores, sendo superior ao limite de 3,1 dS m⁻¹ (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

As concentrações de sólidos suspensos (SS) variaram de 440 a 680 mg L⁻¹ tendo o valor médio de 563,33 mg L⁻¹. Houve um aumento da concentração de SS na medida em que se aumentava o tempo de funcionamento do sistema operando com efluente, observando-se ainda que os

valores de SS foram superiores ao limite de 400 mg L⁻¹ estabelecido por Nakayama, Boman e Pitts (2006), e Capra e Scicolone (1998), que classificaram o risco de entupimento de gotejadores como severo.

O valor médio de sólidos dissolvidos (SD) na ARDT foi superior ao limite de 2000 mg L⁻¹ indicado por Nakayama, Boman e Pitts (2006) sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como severo.

O teor médio de cálcio (Ca²⁺) no efluente foi equivalente a 1,62 mmol_c L⁻¹, onde de acordo com Capra e Scicolone

(1998), o risco de obstrução de gotejadores é classificado como baixo, sendo a concentração de Ca²⁺ na ARDT inferior a 12,5 mmol_c L⁻¹.

Com relação ao Magnésio (Mg²⁺), os valores oscilaram entre 0,60 e 3,30 mmol_c L⁻¹, sendo o valor médio de 1,80 mmol_c L⁻¹. Segundo Capra e Scicolone (1998), até as 240h de funcionamento do sistema de irrigação com efluente, o risco de entupimento de gotejadores pode ser classificado como menor, passando a moderado já a partir das 320h.

Tabela 2. Características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária doméstica tratada (ARDT), ao longo do tempo de operação das unidades gotejadoras.

Características	Tempo de operação (h)					
	0	80	160	240	320	400
pH	8,63	8,49	8,90	8,27	8,67	8,75
CE	3,87	4,15	4,84	4,57	4,94	5,02
SS	440	460	600	540	660	680
SD	2225	2504	3204	2972	3172	3772
Ca ²⁺	1,62	2,30	1,70	1,30	1,30	1,50
Mg ²⁺	1,40	1,20	0,60	1,30	3,00	3,30
Mn	0,070	0,056	0,048	0,041	0,057	0,044
Fe	0,259	0,161	0,214	0,198	0,305	0,342
CT	2,6x10 ³	1,2x10 ³	1,0x10 ³	6,0x10 ²	2,0x10 ²	2,0x10 ²

Nota: pH - Potencial hidrogeniônico; CE - Condutividade elétrica, dS m⁻¹; SS - Sólidos suspensos, mg L⁻¹; SD - Sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; Ca²⁺ - Cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ - Magnésio, mmol_c L⁻¹; Mn - Manganês, mg L⁻¹; Fe - Ferro, mg L⁻¹; CT - Coliformes Totais, UFC 100 mL⁻¹.

A concentração média do manganês (Mn) no efluente utilizado foi inferior ao limite de 1,0 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de águas residuárias em corpo hídrico receptor (BRASIL, 2011). Segundo

Ayers e Westcot (1999), o Mn não representa riscos de toxicidade para cultivos agrícolas obtidos em solos ácidos, pois sua concentração média foi inferior ao valor limite de 0,20 mg L⁻¹.

Tabela 3. Valor máximo (MAX), valor mínimo (MIN), média (M), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária doméstica tratada (ARDT).

Características	MAX	MIN	M	DP	CV(%)
pH	8,90	8,27	8,62	0,22	2,53
CE (dS m ⁻¹)	5,02	3,87	4,57	0,46	10,17
SS (mg L ⁻¹)	680	440	563	101	17,88
SD (mg L ⁻¹)	3772	2225	2975	550	18,48
Ca ²⁺ (mmolc L ⁻¹)	2,30	1,30	1,62	0,37	22,90
Mg ²⁺ (mmolc L ⁻¹)	3,30	0,60	1,80	1,09	60,35
Mn (mg L ⁻¹)	0,07	0,04	0,05	0,01	20,15
Fe (mg L ⁻¹)	0,34	0,16	0,25	0,07	27,76
CT (UFC 100 mL ⁻¹)	2600,00	200,00	966,67	898,15	92,91

Nota: pH - Potencial hidrogeniônico; CE - Condutividade elétrica; SS - Sólidos suspensos; SD - Sólidos dissolvidos; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio; Mn - Manganês; Fe - Ferro; CT - Coliformes Totais; e UFC - Unidades formadoras de colônias.

O teor médio de ferro (Fe) presente no efluente se encontrou dentro da faixa de 0,2 a 1,5 mg L⁻¹, estabelecida por Nakayama, Boman e Pitts (2006) que classifica o risco de obstrução de gotejadores como moderado. Fato similar foi relatado por Liu e Huang (2009) que determinaram teor médio de Fe igual a 0,23 mg L⁻¹, em estudo com água residuária sanitária tratada. O teor médio de Fe na ARDT atende aos padrões de lançamento de água residuária doméstica e sanitária tratada nos corpos hídricos brasileiros, onde o limite máximo é de 15,0 mg L⁻¹(BRASIL, 2011).

Os níveis populacionais de coliformes totais (CT) oscilaram de 200 a 2600 UFC 100 mL⁻¹, apresentando o valor médio foi de 966,67 UFC 100 mL⁻¹. O risco biológico de obstrução dos gotejadores é classificado como baixo conforme as recomendações propostas por Nakayama, Boman e Pitts (2006).

Os coliformes totais (CT) são os indicadores de contaminação da água representados por bacilos gram-negativos, sendo que a maioria das bactérias desse grupo pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*

(BRITO et al., 2005). Segundo Nakayama, Boman e Pitts (2006), os gêneros de bactérias *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Clostridium*, *Flavobacterium*, *Vibro*, *Brevibacterium*, *Micrococcus* e *Bacillus* propiciam severos problemas de obstruções de gotejadores e muitos destes encontram-se dentro do grupo CT.

Na Tabela 4, encontra-se o resumo das análises de variância obtida da variável RQR das unidades gotejadoras, que operaram com água residuária doméstica tratada, durante 400h, submetida a tratamento biológico com o produto catalisador.

5.2 Análise de variância e indicadores de desempenho

Verificou-se que a interação das dosagens do produto aplicado, com os tipos de gotejadores, ao longo do tempo de aplicação (interação TRAT x G x T) foram significativas a 1% de probabilidade. O valor do coeficiente de variação da mesma variável na subsubparcela foi de 21,23%.

A determinação do coeficiente de coeficiente de variação é importante, pois permite comparar a variação de conjuntos

de observações que diferem na média ou são medidos em grandezas diferentes. Em vista dos resultados das análises de variância,

procedeu-se ao desdobramento da interação TRAT x G x T.

Tabela 4. Resumo da análise de variância obtida da variável RQR das unidades gotejadoras e no esquema de parcelas subdivididas.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio
		RQR
Tratamentos (TRAT)	3	518,85**
Resíduo (a)	6	48,68
Tipos de gotejadores (G)	3	1089,98**
TRAT x G	9	175,92**
Resíduo (b)	24	41,55
Tempo de funcionamento	5	21765,38**
T R A T x T	15	310,19**
G x T	15	191,95**
TRAT x G x T	45	85,05**
Resíduo (c)	162	43,92
CV (%) parcela		22,36
CV (%) subparcela		20,65
CV (%) subsubparcela		21,23

**F significativo a 1% de probabilidade; RQR – redução da vazão relativa; CV – coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

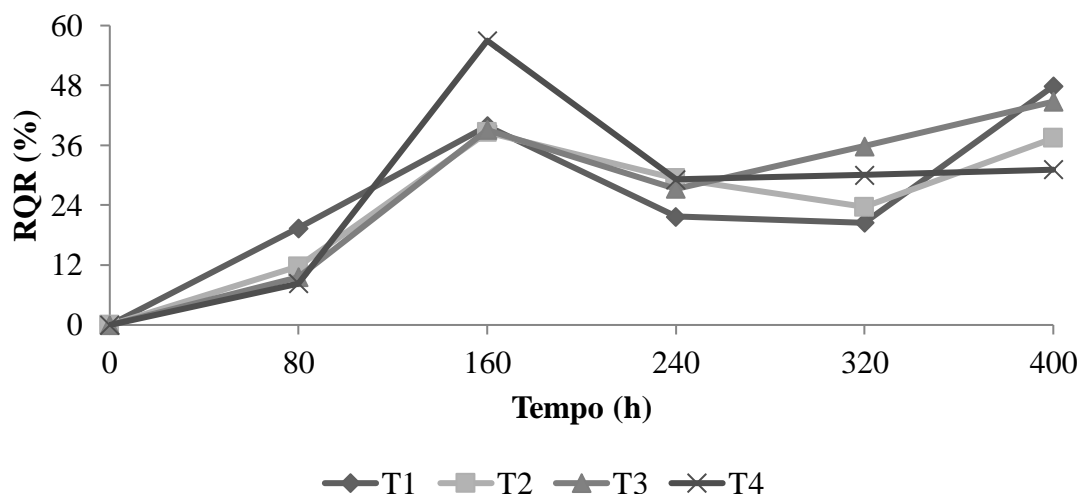
Na Figura 2 está apresentada o da RQR ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G1.

Verificou-se que, no tempo inicial (0h), os valores médios foram iguais a zero, visto que, nesse instante, a vazão atual foi idêntica à vazão inicial. Já no tempo de operação final (400h), os valores médios do RQR nas unidades de irrigação foram de

47,86%; 37,45%; 44,75% e 31,16% para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

O coeficiente de redução da vazão relativa (RQR) expressa o grau de entupimento do gotejador. De acordo com Capra e Scicolone (1998) o RQR pode ser classificado como alto (maior que 79%), médio (entre 61 a 79%) e baixo (menor que 61%).

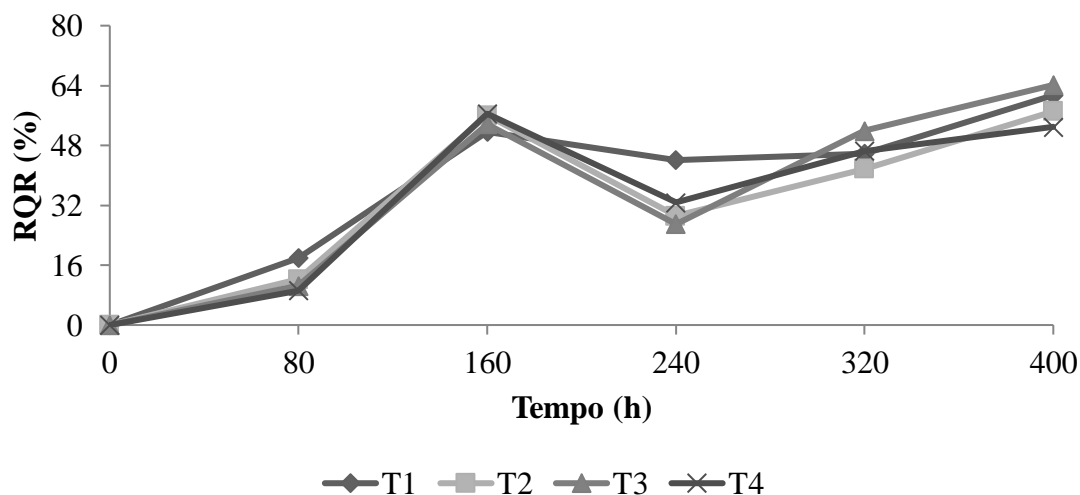
Figura 2. Gráficos da RQR ao longo do período de operação, nas unidades gotejadoras dotadas do emissor G1.



Na Figura 3 está apresentado o gráfico da RQR, ao longo do período de

operação, nas unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G2.

Figura 3. Gráfico da RQR ao longo do período de operação, nas unidades gotejadoras dotadas do emissor G2.

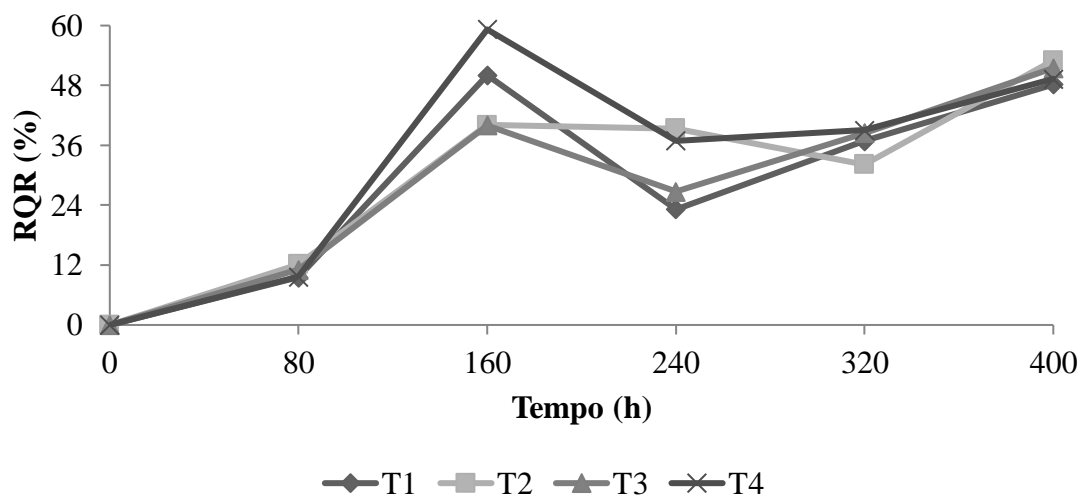


Verificou-se que, no tempo inicial (0h), os valores médios foram iguais a zero, visto que, nesse instante, a vazão atual foi idêntica à vazão inicial. Já no tempo de operação final (400h), os valores médios do RQR nas unidades gotejadoras foram de 61,40%; 57,09%; 64,15% e 52,89% para os TRAT T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Para os TRAT T1 e T3, Capra e Scicolone

(1998), consideram esta redução média, visto que se encontram dentro da faixa-limite 61 a 79%. A mesma classificação considera a RQR baixa, para os TRAT T2 e T4

Na Figura 4, está apresentado o gráfico da RQR, ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G3.

Figura 4. Gráfico da RQR ao longo do período de operação, nas unidades gotejadoras dotadas do emissor G3.

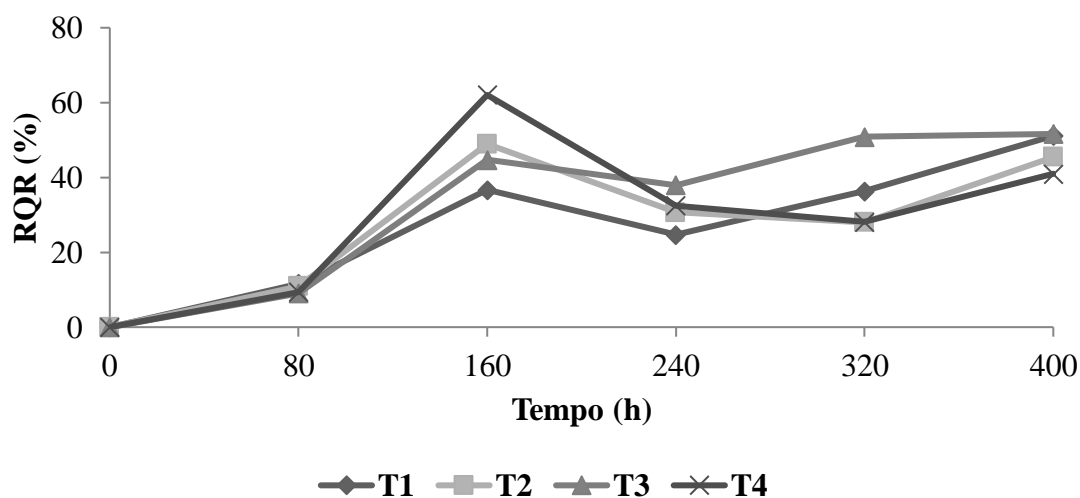


No tempo inicial (0h), os valores médios foram iguais a zero. No tempo de operação final (400h), os valores médios do RQR nas unidades de irrigação foram de 48,23%; 53,02%; 51,48% e 49,31% para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, no qual todos podem ser classificados como baixo (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

Na Figura 5, consta o gráfico da RQR, ao longo do período de operação, nas

unidades de irrigação dotadas dos gotejadores G4. Verificou-se que, no tempo inicial (0 h), os valores médios foram iguais a zero. No tempo de operação final (400 h), os valores médios do RQR nas unidades de irrigação foram 51,13%; 45,47%; 51,63% e 40,96% para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, no qual todos podem ser classificados como baixo (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

Figura 5. Gráfico da RQR ao longo do período de operação, nas unidades gotejadoras dotadas do emissor G4.



Observa-se que a ação do catalisador enzimático não alterou significativamente os valores da RQR. Atribui-se este comportamento ao alto teor de Cloro (Cl) presente na ARDT, podendo ter resultado previamente na diminuição da comunidade bacteriana no biofilme presente nos gotejadores. O conhecimento do teor de cloretos em água tratada tem por finalidade obter informações sobre o seu grau de mineralização, como o manancial está localizado em um solo muito rico em cálcio e magnésio, esses sais tornam-se difíceis de serem removidos e em contato com o cloro no processo de cloração tornam-se cloretos de cálcio e cloreto de magnésio. O entupimento dos gotejadores está mais atribuído a fatores físico-químicos do que biológicos.

Diferentes modelos apresentaram a relação RQR e T, no qual se enquadraram equações lineares, quadráticas e cúbicas, conforme se evidencia na Tabela 5. No gotejador G2, T1, o modelo cúbico foi o que melhor descreveu a relação, apresentando R^2 igual a 0,87. No T3, gotejador G4, o modelo quadrático com R^2 igual a 0,86 foi o mais representativo para o fenômeno, enquanto que o modelo linear expressou melhor a relação RQR e T para o gotejador 3, T3, com coeficiente de determinação (R^2) equivalente a 0,70. Para os gotejadores G3, G1, G2, G1 e G4, nos T1, 3, 3, 4 e 4 respectivamente, os valores de RQR não foram alterados significativamente por T, sendo a média melhor representação para os dados.

Tabela 5. Equações de regressão ajustadas a Redução da Vazão Relativa (RQR), em função dos tempos de operação (T) das unidades gotejadoras, para os quatro tipos de emissores (G1, G2, G3 e G4) e os quatro tratamentos biológicos (T1, T2, T3 e T4).

T	G	Equação de regressão	R^2
1	1	$\hat{R}QR = -2,96 + 0,76^{**} T - 0,0043^{**} T^2 + 0,0000068^{**} T^3$	0,76
1	2	$\hat{R}QR = -1,34 + 0,63^{**} T - 0,0023^{*} T^2 + 0,0000031^{*} T^3$	0,87
1	3	$\hat{R}QR = \overline{R}QR = 30,94$	–
1	4	$\hat{R}QR = -2,07 + 0,41^{**} T - 0,0017^{*} T^2 + 0,0000027^{*} T^3$	0,86
2	1	$\hat{R}QR = -2,85 + 0,43^{**} T - 0,0019^{**} T^2 + 0,0000025^{*} T^3$	0,75
2	2	$\hat{R}QR = -3,77 + 0,54^{**} T - 0,0023^{*} T^2 + 0,0000034^{*} T^3$	0,74
2	3	$\hat{R}QR = -3,03 + 0,43^{**} T - 0,0017^{*} T^2 + 0,0000023^{*} T^3$	0,82
2	4	$\hat{R}QR = -4,02 + 0,52^{**} T - 0,0023^{*} T^2 + 0,0000033^{*} T^3$	0,71
3	1	$\hat{R}QR = \overline{R}QR = 28,02$	–
3	2	$\hat{R}QR = \overline{R}QR = 36,42$	–
3	3	$\hat{R}QR = 5,29 + 0,13^{**} T$	0,70
3	4	$\hat{R}QR = -2,42 + 0,30^{**} T - 0,0039^{**} T^2$	0,86
4	1	$\hat{R}QR = \overline{R}QR = 26,88$	–
4	2	$\hat{R}QR = -0,55 + 0,27^{**} \cdot T - 0,00038^{**} T^2$	0,69
4	3	$\hat{R}QR = -1,25 + 0,33^{**} T - 0,00054^{**} T^2$	0,68
4	4	$\hat{R}QR = \overline{R}QR = 27,53$	–

Nota: T – Tratamento; G – Gotejador; R^2 – Coeficiente de determinação; T – Tempo de funcionamento; * e ** – F significativo a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste “t” respectivamente.

Observa-se na Tabela 6, que apresenta as equações de regressão ajustadas, em função da qualidade da água de irrigação, nas unidades gotejadoras para os quatro tipos de emissores (G1, G2, G3 e G4) e os quatro tratamentos (T1, T2, T3 e T4) biológicos, que, há uma relação linear com os valores de Fe, SD, SS, Ca e, ou pH nos diferentes tratamentos (T1, T2, T3 e T4)

e tipos de gotejadores (G1, G2, G3 e G4). Os coeficientes de determinação variaram entre 0,82 e 1,00, no gotejador G1, T1 e gotejador G1, T4, respectivamente. Todos os modelos foram alterados significativamente por algum ou mais de um elemento físico, químico ou biológico presente na água residuária.

Tabela 6. Equações de regressão ajustadas a Redução da Vazão Relativa (RQR), em função da qualidade da água de irrigação, nas unidades gotejadoras, para os quatro tipos de emissores (G1, G2, G3 e G4) e os quatro tratamentos biológicos (T1, T2, T3 e T4).

T	G	Equação de regressão	R ²
1	1	$\hat{R}Q_R = -72,06 + 0,035^{**} SD$	0,82
1	2	$\hat{R}Q_R = -99,15 + 0,057^{**} SD - 104,81^0 Fe$	0,97
1	3	$\hat{R}Q_R = -83,55 + 0,038^{**} SD$	0,86
1	4	$\hat{R}Q_R = -85,93 - 34,01^0 Fe + 0,082^* SS + 0,026^* SD$	1,00
2	1	$\hat{R}Q_R = -48,16 - 98,42^{**} Fe + 0,032^{**} SD$	0,95
2	2	$\hat{R}Q_R = -86,89 + 0,040^{**} SD$	0,90
2	3	$\hat{R}Q_R = -70,8 - 74,2^0 Fe + 0,04^{**} SD$	0,96
2	4	$\hat{R}Q_R = -63,93 - 101,31^0 Fe + 0,039^{**} SD$	0,91
3	1	$\hat{R}Q_R = -77,59 - 89,61^{**} Fe + 0,23^{**} SS$	0,97
3	2	$\hat{R}Q_R = 452,9 - 83,48^0 Fe + 0,28^{**} SS + 40,84^* pH$	0,99
3	3	$\hat{R}Q_R = -82,73 + 0,038^{**} SD$	0,95
3	4	$\hat{R}Q_R = -97,73 - 111,67^* Fe + 0,285^{**} SS$	0,97
4	1	$\hat{R}Q_R = -50,13 + 0,21^* SS - 169,17^* Fe$	0,87
4	2	$\hat{R}Q_R = -93,4 - 127,4^0 Fe + 0,28^{**} SS$	0,94
4	3	$\hat{R}Q_R = -79,28 + 0,28^* SS - 190,10^0 Fe$	0,87
4	4	$\hat{R}Q_R = -533,5 - 0,035^* SD + 66,06^0 pH - 290,9^* Fe - 25,09^0 Ca$	0,99

Nota: T – Tratamento; G – Gotejador; R² – Coeficiente de determinação; ⁰, * e ** – F significativo a 10%, 5% e 1% de probabilidade, pelo teste “t” respectivamente.

6 CONCLUSÕES

Os modelos de regressão cúbico, quadrático e linear, foram os que melhor se ajustaram às variáveis analisadas, em função das dosagens do produto.

Os elementos Fe, SD, SS, Ca²⁺ e pH predominaram nos modelos empíricos de

desempenho hidráulico para os quatro tipos de gotejadores.

Não houve diferença entre os tratamentos. As alterações nas variáveis analisadas se deram em função do tempo de operação e dos agentes físico-químicos, que propiciaram entupimento parcial dos gotejadores e, conseqüentemente, aumento

nos coeficientes de variação da vazão dos gotejadores nas unidades de irrigação que operaram com água residuária de origem doméstica tratada.

A ação do catalisador enzimático foi inibida devido ao alto teor de cloro presente na água residuária de origem doméstica tratada.

7 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 218 p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 92, p. 89, 16 maio 2011. Disponível em: <http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 20 jun. 2018.

BRITO, L. L. A.; CARDOSO, A. B.; SALVADOR, D. P.; HELLER, L. Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, p. 307-317, 2005.

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

CEARÁ. Resolução COEMA nº 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. **Diário Oficial do Estado do Ceará**, Fortaleza, 2002. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

CHEVREMONT, A. C.; BOUDENNE, J. L.; COULOMB, B.; FARNET, A. M. Impact of watering with UV-LED-treated wastewater on microbial and physico-chemical parameters of soil. **Water Research**, Londres, v. 47, n. 1, p. 1971-1982, 2013.

CONDÉ, M. S.; HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; SANTIAGO, A. M. F. Influência da aplicação de águas residuárias de criatórios de animais no solo: atributos químicos e físicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Rio Pomba, v. 2, n. 1, p. 99-106, 2012.

- COSTA, D. O.; BATISTA, R. O.; VALE, H. S. M.; SOUSA, A. B.; DOMBROSKI, S. A. G. Biological treatment of drippers clogged by the use of treated domestic wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 7, p. 595-599, 2016.
- COSTA, D. de OLIVEIRA. **Eficácia do tratamento biológico em gotejadores operando com água residuária doméstica tratada**. 2014. 110f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN.
- GONÇALVES, I. Z.; GARCIA, G. O.; RIGO, M. M.; REIS, E. F.; TOMAZ, M. A. Nutrition and growth of the conilon coffee after application of treated wastewater. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 1, p. 71-77, 2013.
- LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 5, p. 745-756, 2009.
- LO MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, H. E. P.; FERREIRA, P. R.; RAMOS, M. M. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 348-364, 2009.
- NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Ed.). **Microirrigation for crop production: design, operation, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2006. cap. 11, p. 389-430.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; MELO, A. L. P. **Guia prático para utilização do SAEG**. Viçosa: UFV, 2008. 288 p.
- RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, 2012. 1496 p.
- SIMÕES, K. S.; PEIXOTO, M. F. S. P.; ALMEIDA, A. T.; LEDO, C. A. S.; PEIXOTO, C. P.; PEREIRA, F. A. C. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 518-523, 2013.
- SILVA, F. K.; EYNG, J. O tratamento de águas residuais de indústria de laticínios: um estudo comparativo entre os métodos de tratamento com biofiltro e com o sistema convencional de lagoas. **Revista de Gestão Sustentável e Ambiental**, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 4-22, 2013.
- SOARES, S. R.; ANTONIO, G. J. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura na *brachiaria brizantha* cv marandu. **Revista Colombiana de Ciências Animais**, Medellín, v. 4, n. 1, p. 185-203, 2012.
- XAVIER, J. F.; AZEVEDO, C. A. V.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. R. S.; LIMA, V. L. A. de. Crescimento de mamoneira sob diferentes tipos de águas residuárias e níveis de águas no solo. **Revista Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 196-210, 2009.