

MODELOS EMPÍRICOS DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA COM ESGOTO SANITÁRIO TRATADO

Rafael Oliveira Batista¹; Antônio Alves Soares²; José Antonio Rodrigues de Souza³; Raquel Oliveira Batista⁴

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo obter modelos empíricos que relacionam os fatores de entupimento, tempo de operação, manganês total, ferro total, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, pH e coliformes totais, com o desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento aplicando esgoto sanitário tratado. Para tal, montou-se uma bancada experimental com três tipos de gotejadores (M1 - não autocompensante e comprimento de labirinto de 177 mm; M2 - autocompensante e comprimento de labirinto de 260 mm; e M3 - não autocompensante e comprimento de labirinto de 396 mm). Realizou-se a medição da vazão dos gotejadores e análises física, química e biológica do efluente, a cada 80 h de funcionamento do sistema. Os resultados indicaram que os gotejadores com maiores comprimentos de labirinto foram os mais suscetíveis ao entupimento. Existem relações lineares múltiplas entre a vazão dos gotejadores e os fatores de entupimento tempo de operação, manganês total, ferro total, sólidos dissolvidos e pH.

Palavras-chave: água residuária, fertirrigação, gotejadores, obstrução.

ABSTRACT

Empirical Models for Trickle Irrigation With Treated Sanitary Sewage

The objective of this work was to develop empirical models that correlate the blockage factors, operational time, total manganese and iron, and suspended and dissolved solids, pH and total coliform, to the hydraulic performance of drip irrigation systems using treated sanitary sewage water. An experimental bench was mounted with three kinds of dripper (M1 – non-pressure compensated with labyrinth length of 177 mm; M2 - pressure compensated and with labyrinth length of 260 mm; and M3 – non-pressure compensated and with labyrinth length of 396 mm). The dripper's discharge was measured and collected after each 80 h of operation to analyze its physical, chemical and biological parameters. The results indicated that the drippers with larger labyrinth length were the most susceptible to the blockage. There were multiple linear relationships between the dripper's discharge and the blockage factors, operational period, total manganese and iron, dissolved solids and pH.

Keywords: wastewater, fertirrigation, drippers, blockage.

¹ Eng. Agrícola, Doutor em Eng. Agrícola, Depto de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa, MG. E-mail: rafael@grupointec.com.br

² Prof. Titular, Depto de Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

³ Eng. Agrícola, Doutorando em Eng. Agrícola, Depto de Eng. Agrícola, Univ. Federal de Viçosa, Viçosa, MG

⁴ Eng. Agrônoma, Mestranda em Eng. Agrícola, Depto de Eng. Agrícola, Univ. Federal de Viçosa, Viçosa, MG

INTRODUÇÃO

O método de irrigação localizada tem sido usado para aplicação de águas residuárias, devido à elevada eficiência de aplicação do efluente e o baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo. No entanto, os sistemas de irrigação localizada possuem emissores, que apresentam alta suscetibilidade ao entupimento. A sensibilidade ao problema de entupimento varia de acordo com as características do emissor e com a qualidade da água quanto aos aspectos físicos, químicos e biológicos.

Atualmente, não se dispõe de um método seguro para avaliar o risco de entupimento pelo uso de determinada água de irrigação ou fertirrigação. No sentido de dar uma orientação de caráter quantitativo, Bucks et al. (1979) classificaram o risco de entupimento de gotejadores, com vazão nominal de até 12 L h^{-1} , utilizando critérios direcionados à qualidade da água de irrigação (Quadro 1). As características de qualidade da água relatadas por Bucks et al. (1979) foram sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, potencial hidrogeniônico, manganês, ferro, sulfeto de hidrogênio e população bacteriana. Os estudos classificaram os riscos de entupimento dentro de três classes: baixo, moderado e severo.

A suscetibilidade ao entupimento é uma consideração muito importante na seleção de emissores para aplicação de águas residuárias. A

formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens bacterianas e sólidos suspensos tem sido a principal causa de entupimento de gotejadores, durante a aplicação de esgoto sanitário tratado (Capra & Scicolone, 2004). Estudos realizados por Taylor et al. (1995) evidenciaram que as interações entre fatores físicos, químicos e biológicos foram responsáveis por 90% dos gotejadores entupidos. Ravina et al. (1997) constataram desenvolvimento de biofilme nas paredes do equipamento de irrigação, somente, onde a velocidade de escoamento era inferior a $0,5 \text{ m s}^{-1}$.

O entupimento dos emissores reduz a vazão e, conseqüentemente, diminui a uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação localizada. Hills et al. (2000) verificaram diminuição de até 75% na vazão nominal média de sistemas de irrigação por gotejamento, aplicando esgoto sanitário tratado, após 3.000 horas de funcionamento. Estudos realizados por Dehghanisanij et al. (2003) constataram que a aplicação de esgoto sanitário tratado proporcionou redução de até 9% no coeficiente estatístico de uniformidade de aplicação de água (U_s) de sistemas de irrigação por gotejamento operando durante 187 horas. Capra & Scicolone (2004) obtiveram coeficientes de uniformidade de distribuição de água (CUD), variando de 0 a 77%, em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando esgoto sanitário tratado, após 60 horas de operação.

Quadro 1. Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada

Fatores	Risco de entupimento		
	Baixo	Moderado	Severo
Físico			
Sólidos suspensos (mg L^{-1})	< 50	50 – 100	> 100
Químico			
pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (mg L^{-1})	< 500	500 – 2.000	> 2.000
Manganês (mg L^{-1})	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ferro total (mg L^{-1})	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Sulfeto de hidrogênio (mg L^{-1})	< 0,2	0,2 – 2,0	> 2,0
Biológico			
População bacteriana ($\text{n}^\circ \text{ mL}^{-1}$)	< 1×10^4	1×10^4 – 5×10^4	> 5×10^4

Fonte: Bucks et al. (1979).

Na literatura disponível, há poucos modelos empíricos que relacionam a uniformidade de aplicação de água com o entupimento de gotejadores. Bralts et al. (1987) propuseram, a partir do coeficiente de variação de fluxo do emissor, um coeficiente estatístico de uniformidade (V_q), o qual inclui o grau de entupimento de emissores, conforme apresentado na Equação 1. O inconveniente desta metodologia de avaliação de sistemas já instalados reside na dificuldade de mensuração do grau de entupimento parcial do emissor (p). Adicionalmente, os autores não definem o que consideram um emissor parcialmente entupido, o que dificulta a determinação do número de emissores parcialmente entupidos (a). Na comparação experimental do coeficiente proposto, os autores não conseguiram adequar uma metodologia conveniente para a simulação do entupimento parcial de emissores, fazendo-a somente para o entupimento total, por meio do uso de adesivo plástico à saída do orifício dos emissores, de forma uniformemente distribuída ao longo da linha lateral.

$$V_q = \left\{ \frac{n [t + a(1-p)^2]}{[t + a(1-p)]^2} [V^2 + 1] - 1 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

em que

V_q = coeficiente de variação de emissores entupidos, decimal;

V = coeficiente de variação de emissores sem entupimento, adimensional;

n = número de emissores avaliados, adimensional;

t = número de emissores sem entupimento, adimensional;

p = grau de entupimento parcial do emissor, adimensional; e

a = número de emissores parcialmente entupidos, adimensional.

Wu (1997) propôs um coeficiente de variação de emissores entupidos simplificado, expresso pela Equação 2. Para tal, também pode ser tratado como fator inconveniente a dificuldade de mensuração do grau de entupimento parcial dos emissores (p).

$$V_q = \sqrt{\frac{p}{1-p}} \quad (2)$$

em que

V_q = coeficiente de variação de emissores entupidos; e

p = grau de entupimento do emissor, adimensional.

O presente trabalho objetivou obter modelos empíricos que relacionam os fatores de entupimento tempo de operação, manganês total, ferro total, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, pH e coliformes totais com o desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento operando com esgoto sanitário tratado.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto (EPTE), uma das áreas experimentais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), localizada em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. A EPTE foi dimensionada para uma vazão de aproximadamente $2,0 \text{ L s}^{-1}$, vazão obtida no horário de maior produção de esgoto doméstico, proveniente do Condomínio Residencial Bosque do Acamari.

O esgoto sanitário bruto recalcado para a EPTE recebeu tratamento em três etapas distintas. Inicialmente, o esgoto bruto era bombeado para o tratamento preliminar, em que um desarenador removia os sólidos de elevada massa específica. A diminuição na carga orgânica (DBO_5) foi obtida pela disposição do esgoto sanitário sobre rampas de escoamento superficial dotadas de faixas com 1,0 m de largura, 25 m de comprimento e declividade de 2%, cultivadas com capim Tifton 85 do gênero *Cynodon*. Após o tratamento secundário, o esgoto sanitário foi lançado em uma lagoa de maturação com capacidade armazenadora de 300 m^3 , para redução do nível populacional de organismos patogênicos.

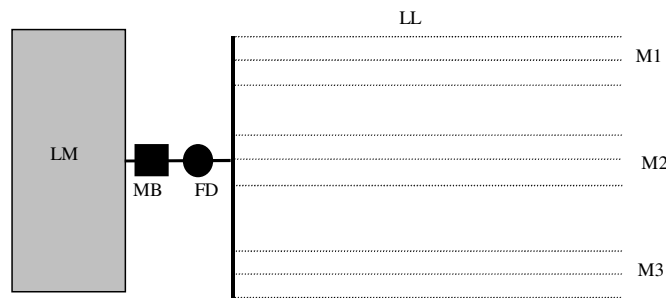


Figura 1. Esquema da plataforma de teste com os seguintes componentes: lagoa de maturação (LM), motobomba (MB), filtro de discos (FD), linhas laterais (LL) e modelos de gotejador M1, M2 e M3.

Quadro 2. Caracterização dos modelos de gotejadores (M) utilizados no experimento, de acordo com o dispositivo de autocompensação (D), a vazão nominal (Q), a faixa de pressão recomendada (P), o espaçamento entre gotejadores (E), o comprimento do labirinto (C), a abertura do labirinto (A) e o número de filtros secundários (N)

M	D	Q (L h ⁻¹)	P (kPa)	E (m)	C (mm)	A (mm)	N
M1	Não	1,7	40-250	0,75	177	1,7	1
M2	Sim	2,1	50-400	0,75	260	2,1	2
M3	Não	2,0	100-400	0,60	396	2,7	2

Para realização do ensaio experimental, foi construída uma plataforma de testes ao lado da lagoa de maturação, conforme Figura 1. Uma unidade de controle, composta por um conjunto motobomba de 3 cv e um filtro de disco comum de 120 mesh, abastecia uma subunidade de fertirrigação por gotejamento com efluente da lagoa de maturação. No experimento, foram testados três modelos de gotejadores (M1, M2 e M3), cujas características técnicas estão apresentadas no Quadro 2.

Em cada linha lateral procedeu-se a identificação de 32 gotejadores, para as avaliações da uniformidade de aplicação de água. As subunidades de aplicação com gotejadores M1, M2 e M3 funcionaram, em média, 12 horas por dia, sete dias por semana, até completar o tempo operacional de 560 horas.

A pressão de serviço foi mantida em 101 kPa, durante o período de ensaio. Foram realizadas oito avaliações dos níveis da uniformidade de aplicação de água, a cada

80 horas. A vazão de cada gotejador foi obtida por meio da razão entre o volume de água residual emitido pelo gotejador, coletado com o posicionamento de provetas junto ao emissor, e o tempo de coleta de três minutos. Posteriormente, os dados de vazão foram interpretados por meio dos coeficientes CV e U_s, apresentados nas equações 3 e 4.

$$CV = \frac{\sigma_q}{\bar{q}} \quad (3)$$

$$U_s = 100 (1 - CV) \quad (4)$$

em que

CV = coeficiente de variação da vazão, adimensional;

σ_q = desvio-padrão das vazões dos gotejadores, L h⁻¹;

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

U_s = coeficiente estatístico de uniformidade de aplicação de água, %.

A avaliação da qualidade do esgoto sanitário da lagoa de maturação para utilização na agricultura foi realizada por meio de análises física, química e biológica. As coletas do esgoto sanitário foram realizadas na extremidade final da lagoa de maturação, em quatro horários distintos (às 9, 11, 13 e 15 horas). Dessas coletas simples, obtiveram-se amostras compostas, as quais foram enviadas aos laboratórios para análises específicas. Parte das amostras compostas foi encaminhada ao Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, para determinação das concentrações dos sólidos totais e suspensos (método gravimétrico). As concentrações dos sólidos dissolvidos foram obtidas pela diferença entre as concentrações dos sólidos totais e dos sólidos suspensos. Logo após cada coleta de amostra simples, foram medidos os valores de pH (método eletrométrico, medidor de pH portátil). As análises de ferro total e manganês total foram feitas, conjuntamente, nos laboratórios de Matéria Orgânica e Resíduos e de Espectrofotometria Atômica, ambos do Departamento de Solos da UFV. As contagens dos coliformes totais, nas amostras do esgoto sanitário tratado, foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água, por meio do teste comercial, auto-análise Colilert (AC), baseado na tecnologia dos substratos definidos. Os resultados foram expressos em número mais provável (NMP) por 100 mL de efluente.

Após as 560 horas de aplicação do esgoto sanitário pelo sistema, retiraram-se amostras dos gotejadores entupidos, para identificação do material de obstrução. As amostras foram acondicionadas em caixas de isopor com gelo e enviadas aos laboratórios específicos dos Departamentos de Biologia Vegetal e de Microbiologia da Universidade Federal Viçosa.

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os dados foram interpretados, por meio de análise de regressão. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão (utilizando-se o teste "t" com nível de significância de até 10%) e no valor do coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 3, é apresentada a estatística descritiva das características física, química e biológica causadoras de entupimento em gotejadores, bem como a classificação proposta por Bucks et al. (1979) para avaliar o risco de obstrução desses equipamentos. Os valores médios de sólidos suspensos, pH, sólidos dissolvidos, ferro total, manganês total e coliformes totais foram de 55 mg L⁻¹; 9,0; 635 mg L⁻¹; 4,7 mg L⁻¹; 0,3 mg L⁻¹ e 2,3 x 10⁶ NMP 100 mL⁻¹, respectivamente. Deve-se ressaltar que os valores de pH variam ao longo do dia em uma lagoa de maturação. Durante o período diurno as algas presentes no efluente realizam fotossíntese, tendo a liberação de oxigênio dissolvido no meio líquido e a absorção de dióxido de carbono, acarretando, assim, a elevação do pH. No período noturno ocorre o inverso, as algas passam a consumir o oxigênio dissolvido e liberar dióxido de carbono no meio líquido, resultando em redução do pH (Leon Suematsu & Cavallini, 1999). Verificou-se que o esgoto sanitário da lagoa de maturação apresentou um risco de entupimento moderado com relação às características sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, manganês total e coliformes totais; e severo em relação às características pH e ferro total, respectivamente.

Na Figura 2, são apresentados os valores observados e estimados do coeficiente de variação da vazão (CV) e do coeficiente estatístico de uniformidade de aplicação (U_s), nas subunidades de aplicação de efluente dotadas dos gotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de operação. Alguns fatores como a vazão e a velocidade do efluente dentro do emissor podem influenciar o processo de entupimento de gotejadores. Para os gotejadores M1, menos entupidos, a velocidade média do efluente foi máxima (0,21 m s⁻¹) e a vazão nominal foi mínima (1,7 L h⁻¹); nos gotejadores M3, mais entupidos, a velocidade média do efluente foi de 0,10 m s⁻¹ (metade do valor obtido no modelo de gotejador M1) e a vazão nominal foi de 2 L h⁻¹; a velocidade média do efluente nos gotejadores M2 (0,17 m s⁻¹) foi similar à do modelo M1, mas sua vazão nominal foi maior (2,1 L h⁻¹), provavelmente o mecanismo de compensação da pressão deste emissor tenha influenciado a maior sensibilidade ao entupimento.

Quadro 3. Média (M), mediana (Md), valor mínimo (Mn), valor máximo (Mx), desvio-padrão (s) e classificação (C) das características sólidos suspensos (SS), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos dissolvidos (SD), ferro total (Fe), manganês total (Mn) e coliformes totais (CT) utilizadas na avaliação do risco de obstrução de gotejadores

Características	M	Md	Mn	Mx	s	C ¹
SS (mg L ⁻¹)	55	46	14	110	39,9	M
PH	9,0	9,3	7,5	10,3	1,1	S
SD (mg L ⁻¹)	635	284	189	2357	761,4	M
Fe (mg L ⁻¹)	4,7	3	0,02	15,6	5,3	S
Mn (mg L ⁻¹)	0,3	0,2	0,05	1,18	0,4	M
CT (NMP* 100 mL ⁻¹) x 10 ⁶	2,3	0,55	0,042	14	4,8	M

¹Classificação proposta por Bucks et al. (1979), para avaliação do risco de entupimento de gotejadores. S - severo; M – moderado.

* Número mais provável.

Na Figura 2, observa-se que os valores de CV nas subunidades de aplicação, com modelos de gotejador M1, M2 e M3, aumentaram ao longo do tempo, em virtude do processo de entupimento. Os valores de CV nas subunidades de aplicação com modelos de gotejador M1, M2 e M3 apresentaram aumento de 3, 7 e 10 vezes, depois 560 h de funcionamento. Esses aumentos proporcionaram uma mudança na classificação de CV, recomendada pela ASAE Standards (2001), que passou de excelente a marginal, na subunidade de aplicação com modelo de gotejador M1, assim como de excelente para inaceitável, nas subunidades de aplicação, com modelos de gotejador M2 e M3. O modelo de regressão que melhor ajustou-se aos dados foi o exponencial. Observou-se que os valores de R² foram de 0,94, 0,95 e 0,98 para as subunidades de aplicação com modelos de gotejador M1, M2 e M3, respectivamente.

Na Figura 2, evidenciou-se também redução de U_s ao longo do tempo, em razão do entupimento dos gotejadores. Os valores de U_s decresceram 5, 21 e 20% nas subunidades de aplicação dotadas dos gotejadores M1, M2 e M3, respectivamente, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de 0 e 560 h. De acordo com a recomendação da ASAE Standards (2001), a subunidade de aplicação, com modelo de gotejador M1, apresentou valores de U_s classificados como excelente durante todo período de testes. No entanto, nas subunidades de aplicação, com modelos de gotejador M2 e M3, os valores de U_s inicialmente classificados como excelentes passaram a razoáveis. O modelo de regressão,

que melhor se ajustou à variação de U_s ao longo do tempo, foi o linear. Os valores de r² foram de 0,93, 0,89 e 0,90 para as subunidades de aplicação com modelos de gotejador M1, M2 e M3, respectivamente, o que comprova o bom ajuste do modelo de regressão escolhido.

Decorrido o tempo de operação de 560 horas, procedeu-se a retirada de amostras dos três modelos de gotejadores, para análise do material causador de entupimento. Nessas amostras, identificou-se uma biomassa de coloração verde, preenchendo tanto os labirintos quanto as pequenas aberturas dos filtros secundários dos gotejadores. A acumulação do biofilme nos gotejadores acarretou redução da vazão, devido à combinação de dois efeitos: o primeiro, com relação à diminuição da área de secção de escoamento dos labirintos; e o segundo refere-se à formação de biofilme sobre os filtros secundários dos gotejadores, dificultando a entrada do esgoto sanitário tratado pelas pequenas aberturas. O material de obstrução resultou da interação entre bactérias e algas presentes na água residuária, que formaram aglomerados na forma de cocos e pequenos bastonetes, conforme Figura 3. Os gêneros de bactérias *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter*, juntamente com a ferrobactéria da espécie *cremothix* sp., formaram um muco microbiano, no qual se aderiram partículas representadas por células de algas vivas ou em decomposição. As algas predominantes pertenciam aos grupos Cyanophyta (gênero *Chlorococcus*), Euglenophyta (gêneros *Euglena* e *Phacus*) e Chlorophyta (gêneros *Selenastrum*, *Scenedesmus* e *Sphaerocystis*).

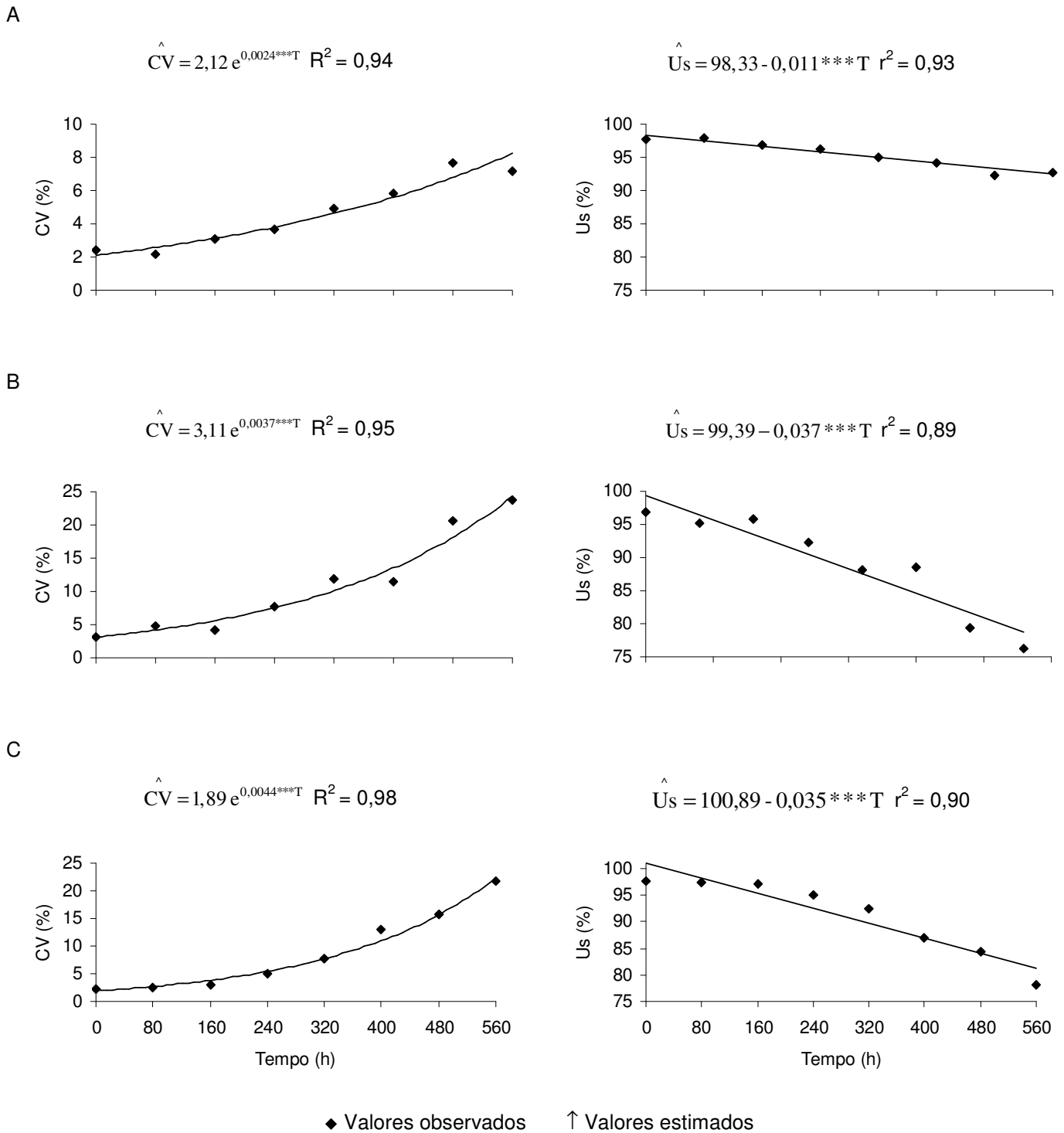


Figura 2. Valores observados e estimados de CV e U_s , nas subunidades de aplicação de esgoto sanitário tratado com modelos de gotejadores M1 (A), M2 (B) e M3 (3), em função do tempo de operação. Os valores observados são provenientes da média de três repetições. “****” são coeficientes significativos a 0,1% de probabilidade.

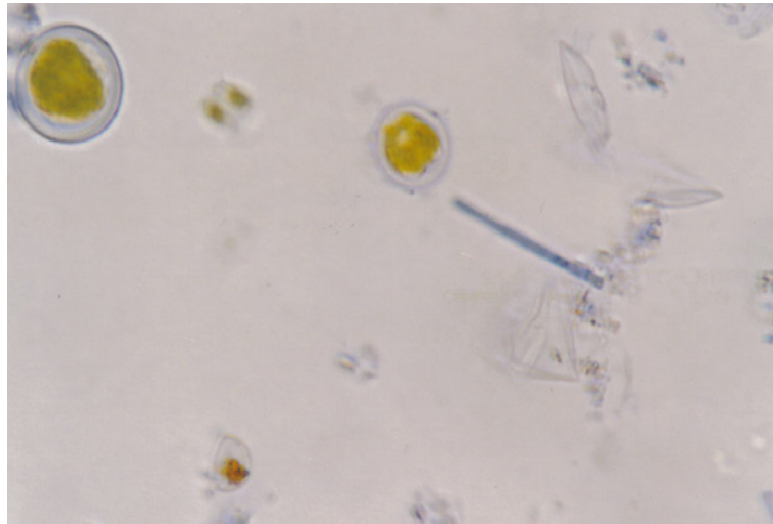


Figura 3. Análise microscópica do biofilme destacando os aglomerados de algas com bactérias nas formas de cocos e pequenos bastonetes.

Quadro 4. Modelos de regressão linear múltipla para a relação entre a vazão média das subunidades de aplicação com distintos gotejadores (\bar{q}_M) e os fatores de entupimento tempo de operação (T), manganês total (Mn), ferro total (Fe), sólidos dissolvidos (SD) e potencial hidrogeniônico (pH)

Modelo de regressão	R ²
$\bar{q}_{M1} = -0,00050(*)T + 0,083(*)Mn - 0,0068(*)Fe$ $-0,000044(*)SD - 0,027(*)pH + 2,22$	0,99
$\bar{q}_{M2} = -0,0010(*)T + 0,30(°)Mn - 0,023(*)Fe$ $-0,00014(*)SD - 0,11(*)pH + 3,34$	0,98
$\bar{q}_{M3} = -0,00080(***)T + 0,085(**)Mn - 0,0044(**)Fe$ $+1,80$	0,99

***, **, * e ° significativos a 0,1; 1; 5; e 10% de probabilidade, pelo teste t.

No Quadro 4 são apresentados os modelos de regressão linear múltipla para a relação entre a vazão média das subunidades de aplicação com distintos gotejadores e os fatores de entupimento tempo de operação, manganês total, ferro total, sólidos dissolvidos e potencial hidrogeniônico. Existem relações lineares entre a redução de vazão nos gotejadores, as concentrações das características de entupimento e o tempo de operação. Observou-se, nesse quadro, que os fatores de entupimento tempo de operação, manganês total, ferro total, sólidos dissolvidos e pH proporcionaram alterações na vazão média das subunidades de aplicação com gotejadores M1 e M2. Enquanto sobre a vazão média da

subunidade com gotejador M3 houve efeito apenas dos fatores de entupimento tempo de operação, manganês total e ferro total. As características sólidos suspensos e coliformes totais não foram significativas, ao nível de probabilidade de 10%, razão pela qual não entraram na composição dos modelos de regressão referentes aos gotejadores M1 e M2. Quanto às características sólidos suspensos, pH, sólidos dissolvidos e coliformes totais, não foram significativas, ao nível de probabilidade de 10% e, portanto, não entraram na composição do modelo de regressão referente ao gotejador M3. Os valores de R² foram de 0,99, 0,98 e 0,99 para os modelos de regressão, referentes aos gotejadores M1, M2 e M3, respectivamente.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, conclui-se:

- As características sólidos suspensos, pH, sólidos dissolvidos, manganês total, ferro total e coliformes totais representam risco potencial de entupimento quando da aplicação de esgoto sanitário tratado por sistema de irrigação por gotejamento.
- Os gotejadores com maiores comprimento de labirinto foram os mais suscetíveis ao entupimento quando da aplicação de esgoto sanitário tratado.
- Nas subunidades de aplicação do esgoto sanitário tratado ocorreu aumento exponencial do coeficiente de variação da vazão (CV) e redução linear do coeficiente estatístico de uniformidade de aplicação (U_s), ao longo do tempo de operação.
- Existem relações lineares múltiplas entre a vazão dos gotejadores e os fatores tempo de operação, manganês total, ferro total, sólidos dissolvidos e pH.
- Os modelos empíricos apresentados neste trabalho não podem ser extrapolados para outros tipos de gotejadores e nem para outras qualidades de esgoto sanitário tratado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE EP 458. Field evaluation of microirrigation systems. ASAE Standards, St. Joseph, p.792-797, 2001.
- BRALTS, V.F.; EDWARDS, D.M.; WU, I.P. Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept. *Advances in irrigation*, New York, v.4, p.67-117, 1987.
- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBET, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.2, n.2, p.149-162, 1979.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.68, n.2, p.135-149, 2004.
- DEGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; RASIAH, V.; INOUE, M.; KESHAVARZ, A. Control of clogging in microirrigation using wastewater in Tohaku, Japan. ASAE Meeting, St. Joseph, Mich.: ASAE, 2003. (Paper n. 032027).
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Sources, treatment, processes and uses of sewage effluent. In: *Irrigation with treated sewage effluent*. (Eds.) Berlin: Springer-Verlag, 1991. cap.2, p.3-33.
- HILLS, D.J.; TAJRISHY, M.A.; TCHOBANOGLOUS, G. The influence of filtration on ultraviolet disinfection of secondary effluent for microirrigation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.43, n.6, p.1499-1505, 2000.
- LEON SUEMATSU, G.; CAVALLINI, J.M. Tratamento e uso de águas residuárias. Tradução de: H.R. Gheyi, A. König, B.O. Ceballos, F.V. Damasceno. Campinas Grande: UFPB, 1999. 109p.
- RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z.; LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.33, p.127-137, 1997.
- TAYLOR, H.D.; BASTOS, R.K.X.; PEARSON, H.W.; MARA, D.D. Drip irrigation with waste stabilization pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. *Water Science Technology*, London. v.31, n.12, p.417-424, 1995.
- WU, I.P. An assessment of hydraulic desing of micro-irrigation systems. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.32, n.2, p.275-284, 1997.