

## MODELOS EMPÍRICOS DA APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA POR GOTEJADORES SOB PRESSÕES DE SERVIÇO

**RAFAEL OLIVEIRA BATISTA<sup>1</sup>; RUBENS ALVES DE OLIVEIRA<sup>2</sup>; DELFRAN BATISTA DOS SANTOS<sup>3</sup>; FERNANDO FRANÇA DA CUNHA<sup>2</sup> E SALOMÃO DE SOUSA MEDEIROS<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, UFERSA câmpus Mossoró-RN, Avenida Francisco Mota, nº 572, Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900 - Mossoró, RN, Brasil, e-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, UFV câmpus Viçosa-MG, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP: 36570-900 - Viçosa, MG, Brasil, e-mail: rubens@ufv.br, dacunhaff@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Câmpus Senhor do Bonfim-BA. Estrada de Igara, km 04, s/n, zona rural, CEP: 48970-000 - Senhor do Bonfim, BA, Brasil, e-mail: delfran.batista@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto Nacional do Semiárido, INSA. Avenida Francisco Lopes de Almeida, s/n, Bairro Serrotão, CEP: 58.429-970 - Campina Grande, PB, Brasil, e-mail: salomao@insa.gov.br

### 1 RESUMO

Este trabalho objetivou obter modelos empíricos das alterações da magnitude de pressões de serviço na minimização da obstrução de gotejadores através da aplicação de água residuária de suinocultura e água de abastecimento público. O experimento foi montado com dois fatores, sendo três tipos de gotejadores ( $G1 = 2,0 \text{ L h}^{-1}$ ,  $G2 = 1,7 \text{ L h}^{-1}$  e  $G3 = 3,6 \text{ L h}^{-1}$ ) e quatro pressões de serviço ( $P1 = 75 \text{ kPa}$ ,  $P2 = 145 \text{ kPa}$ ,  $P3 = 215 \text{ kPa}$  e  $P4 = 285 \text{ kPa}$ ) em três repetições. Para determinação dos modelos, foram avaliados os indicadores de desempenho hidráulico coeficiente de variação de vazão, coeficiente de uniformidade estatística e coeficiente de vazão relativa média que foram determinados a cada 20 h, durante 160 h de operação do sistema de irrigação. Os dados foram submetidos à análise de regressão, representando 12 combinações entre os tipos de gotejadores e as pressões de serviço, ao longo dos tempos de operação. Também foram avaliadas as características físico-químicas e microbiológicas da água residuária de suinocultura e da água de abastecimento público a cada 20 h e 80 h, respectivamente. Após 160 h de aplicação de água residuária de suinocultura e água de abastecimento público houve comprometimento do desempenho hidráulico das unidades gotejadoras em função do entupimento dos gotejadores. Os modelos de regressão quadrático, hiperbólico, raiz quadrada e linear foram os de melhor ajuste aos dados do coeficiente de variação de vazão e coeficiente de uniformidade estatística em função do tempo de operação, em quanto os modelos raiz quadrada, hiperbólico e linear foram os mais adequados para o coeficiente de vazão relativa média.

**Palavras-chave:** Resíduo líquido, desempenho hidráulico, entupimento.

**BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B.; CUNHA, F. F.; MEDEIROS, S. S.**  
**EMPIRICAL MODELS OF THE APPLICATION OF SWINE WASTEWATER AND**  
**SUPPLY WATER IN DRIPPERS UNDER OPERATING PRESSURE**

## 2 ABSTRACT

This study aimed at obtaining the empirical models for magnitude alterations of operating pressures, in minimizing obstruction of drippers by applying swine wastewater and water supply. The experiment was mounted with two factors, three types of drippers (G1 = Tif Naan; G2 = Naan Drip Paz 25; and G3 = Plastro Hydro PC) and four operating pressures (P1 = 75 kPa; P 2 = 145 kPa; P3 = 215 kPa; e P4 = 285 kPa) in three replications. Data were subjected to regression analysis, representing 12 combinations between the types of drippers and working pressures, during the operation time. The water performance indicators, flow variation coefficient, statistical uniformity coefficient and relative flow coefficient were determined every 20 h during 160 h of operation. The physico-chemical and biological characteristics of swine wastewater and supply water were obtained every 20 h and 80 h, respectively. The magnitude increase on operating pressure minimizes clogging of drippers that operate with swine wastewater and supply water. The combinations 8 (G2 x P3) and 9 (x G3 P3) resulted in the highest indicators of water performance in drip irrigation units.

**Keywords:** liquid waste, swine, hydraulic performance, clogging.

## 3 INTRODUÇÃO

A importância da suinocultura, no contexto nacional, reside não só no número de criadores envolvidos, como também no volume de empregos gerados direto e indiretamente e pela capacidade de produzir grande quantidade de proteína de alta qualidade em reduzida área e curto espaço de tempo, em comparação com outras espécies de animais (ARRUDA et al., 2010; NUNES et al., 2011).

A utilização de águas residuárias de suinocultura na agricultura é uma alternativa para o controle da poluição e contaminação do sistema água-solo-atmosfera, além de possibilitar a disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, ciclagem de nutrientes e aumento na produção agrícola (CABRAL et al., 2011).

Os sistemas de irrigação por gotejamento são os mais adequados para a disposição de águas residuárias por causa da elevada eficiência de aplicação, do baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores em campo, da minimização dos riscos de escoamento superficial, percolação e acumulação de sais próximo ao sistema radicular (ORON et al., 1999).

Como desvantagens, os sistemas de irrigação por gotejamento que operam com águas residuárias apresentam elevada suscetibilidade ao entupimento dos gotejadores (BATISTA et al., 2008; LIU e HUANG, 2009) que oscila com as características intrínsecas do gotejador (SILVA et al., 2013) e com a qualidade dos efluentes relacionada aos aspectos físico-químicos e biológicos (BATISTA et al., 2011; BATISTA et al., 2012).

O surgimento de biofilme no interior dos gotejadores e linhas laterais, devido à interação de mucilagens bacterianas com partículas orgânicas e, ou inorgânicas, é a principal causa de obstrução em sistemas de irrigação localiza que operam com águas residuárias (DAZHUANG et al., 2009; OLIVER; HEWA; PEZZANITI, 2014).

A obstrução dos gotejadores prejudica o funcionamento geral do sistema de irrigação localizada, afetando as suas características de operação e exigindo manutenções mais frequentes (COSTA et al., 2016; MARQUES et al., 2016). Em geral, o entupimento diminui a

vazão e a uniformidade de aplicação de efluente, e, conseqüentemente, a eficiência dos sistemas (DURAN-ROS et al., 2009; PUIG-BARGUÉS et al., 2010).

Na minimização do entupimento de gotejadores que operam com águas residuárias, o aumento da pressão de serviço é uma prática que se destaca por sua simplicidade, eficiência e não utilização de produtos químicos, tais como ácidos e derivados clorados que acarretam problemas ambientais (SILVA et al., 2013).

Alterações na magnitude da pressão de serviço podem interferir no processo de entupimento de gotejadores, devido à mudança no regime de escoamento, acarretando impactos na deposição de sedimentos e formação de biofilme (SILVA et al., 2014).

Diante do exposto, este trabalho objetivou obter modelos empíricos das alterações da magnitude de pressões de serviço na minimização da obstrução de gotejadores aplicando água residuária de suinocultura e água de abastecimento público.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

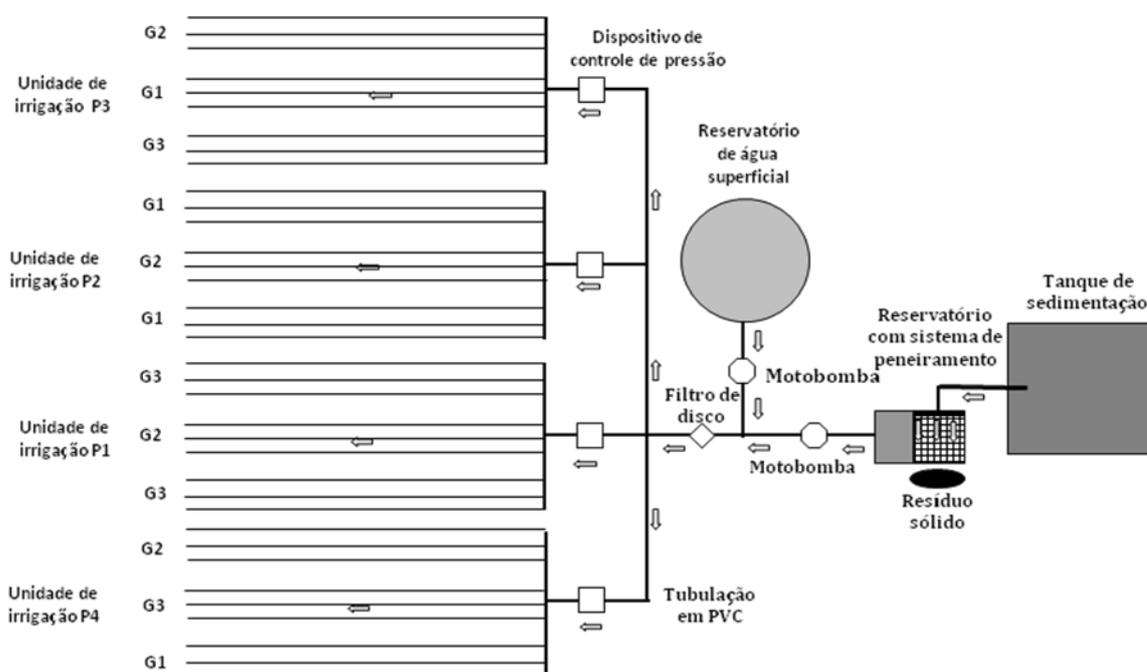
Este trabalho foi conduzido num período de tempo entre maio de 2006 a abril de 2007 em área pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada a 20° 46' 11.25" Sul e 42° 51' 44.96" Oeste, no município de Viçosa, MG, cuja classificação climática, segundo Koppen é do tipo "Cwa", caracterizada pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e secas no inverno.

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado com dois fatores em estudo, tipos de gotejadores ( $G1 = 2,0 \text{ L h}^{-1}$ ,  $G2 = 1,7 \text{ L h}^{-1}$  e  $G3 = 3,6 \text{ L h}^{-1}$ ) e pressões de serviço ( $P1 = 75 \text{ kPa}$ ,  $P2 = 145 \text{ kPa}$ ,  $P3 = 215 \text{ kPa}$  e  $P4 = 285 \text{ kPa}$ ) em três repetições, ao logo de um tempo de operação de 160 h. Tanto as pressões de serviço quanto os tipos de gotejadores foram dispostos na plataforma de testes de forma casualizada, por meio de sorteio.

Neste sentido foram selecionados modelos de regressão para as combinações entre os tipos de gotejadores e as pressões de serviço, ao longo dos tempos de operação referente aos indicadores de desempenho hidráulico coeficiente de variação de vazão (CVq), coeficiente de uniformidade estatística ( $U_s$ ) e coeficiente da vazão relativa média ( $D_{ra}$ ).

Na referida área, foram instaladas as unidades experimentais constituídas por duas unidades de controle para bombeamento de água residuária de suinocultura tratada em tanque de sedimentação (ARS) e de água de abastecimento público (AA) e por uma plataforma de testes dotada de quatro unidades de irrigação (Figura 1).

**Figura 1.** Área experimental, destacando-se as unidades de controle para bombeamento de ARS e AA, a plataforma de testes e as unidades de irrigação por gotejamento.



A unidade de controle para bombeamento da ARS foi constituída por reservatório de 7 m<sup>3</sup>, peneira com tela metálica de 47 µm, conjunto motobomba de 3 cv e filtro de discos com aberturas de 130 µm. Já na unidade de controle para o bombeamento de AA utilizou-se reservatório de 6 m<sup>3</sup>, conjunto motobomba de 3 cv e filtro de discos com aberturas de 130 µm.

A plataforma de testes foi construída em alvenaria, nas dimensões de 3,4 m de largura por 18,0 m de comprimento, com declividade transversal de 2%. Construiu-se uma canaleta também em alvenaria, ao longo da lateral mais baixa da plataforma, com a finalidade de coletar e retirar da plataforma a ARS e a AA aplicadas pelos gotejadores.

Sobre a plataforma de testes montaram-se quatro unidades de irrigação, sendo que cada uma delas possuía válvula reguladora específica da pressão de serviço, uma linha de derivação de PVC com diâmetro nominal de 32 mm e nove linhas laterais de polietileno. Instalou-se uma tomada de pressão a jusante de cada válvula reguladora de pressão para monitoramento.

Cada unidade de irrigação recebeu a inserção de três tipos de gotejadores em três repetições. As linhas laterais tinham 18 m de comprimento, posicionadas em nível na plataforma de testes.

Os tipos de gotejadores foram selecionados por sua menor suscetibilidade ao entupimento para aplicação de água superficial e subterrânea e por serem muito comercializados no mercado nacional. A Tabela 1 apresenta as características dos gotejadores utilizados.

**Tabela 1.** Gotejadores (G) utilizados nos ensaios experimentais.

G	DA*	Q* (L h <sup>-1</sup> )	A** (mm <sup>2</sup> )	L** (mm)	CV <sub>f</sub> * (%)	P* (kPa)	EE* (m)
G1	Não	2,00	4,45	327	≤ 3	80 -300	0,5
G2	Não	1,70	1,86	176	≤ 3	40 - 100	0,3
G3	Sim	3,60	2,54	44	≤ 4	80 - 350	0,5

**Nota:** DA - dispositivo de autocompensação, Q - vazão nominal, A - área do orifício, L - comprimento do labirinto, CV<sub>f</sub> - coeficiente de variação de fabricação, P - faixa de pressão recomendada e EE - espaçamento entre gotejadores. \* e \*\* informações obtidas nos catálogos dos fabricantes e informações medidas com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, respectivamente.

As unidades de irrigação funcionaram quatro horas por dia, sendo duas horas de aplicação ARS mais duas horas aplicando AA, simulando a condição de irrigação em campo, até completar 160 h.

Para obtenção dos dados de vazão, foram identificados 22 gotejadores por linha lateral, conforme recomendação de Capra e Scicolone (1998), que recomendaram no mínimo 16 gotejadores para avaliação do desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento com obstrução. Após a identificação dos gotejadores, coletava-se o volume aplicado de ARS em cada gotejador, durante três minutos. Esses dados eram sempre obtidos nos mesmos gotejadores. Com esses dados determinava-se a vazão através da Equação 1.

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

Em que: q, vazão do gotejador (L h<sup>-1</sup>); V, volume de água coletada (mL); e t, tempo de coleta da ARS (min).

O desempenho hidráulico das unidades de irrigação operando com ARS e AA foram obtidos por meio do coeficiente de variação de vazão (CV<sub>q</sub>), Equação 2 (ASABE, 2008); coeficiente de uniformidade estatística (Us), Equação 3 (CAPRA e SCICOLONE, 1998) e coeficiente da vazão relativa média (Dra), Equação 4 (CAPRA e SCICOLONE, 1998).

$$CV_q = \frac{S_n}{\bar{q}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$Us = (1 - CV_q) \cdot 100 \quad (3)$$

$$Dra = \sum \frac{Dr}{n} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que: CV<sub>q</sub>, coeficiente de variação de vazão (%); S<sub>n</sub>, desvio padrão da vazão dos gotejadores (L h<sup>-1</sup>);  $\bar{q}$ , vazão média ponderada do gotejador (L h<sup>-1</sup>); Us, coeficiente de uniformidade estatística (%); Dra, coeficiente da vazão relativa média (%); Dr, vazão relativa de cada gotejador ensaiado, obtida pela razão entre a vazão atual do gotejador (L h<sup>-1</sup>) e a vazão do gotejador novo (L h<sup>-1</sup>), adimensional; e n, número de gotejadores avaliados.

Os procedimentos para avaliação dos indicadores de desempenho hidráulico CV<sub>q</sub>, Us e Dra foram obtidos dos critérios estabelecidos pela ASAE EP 405 (ASABE, 2008) e por Capra e Scicolone (1998). A norma ASAE EP 405 (ASABE, 2008) sugere a seguinte classificação para os valores de CV<sub>q</sub>: menor que 10 %, bom; entre 10 e 20 %, razoável; e maior que 20 %, inaceitável. Para os valores de Us, Capra e Scicolone (1998) propuseram a seguinte

classificação: menor que 71 %, baixo; ente 71 e 89 %, médio; e maior que 89 %, alto. Os referidos autores, também, estabeleceram critérios para classificação do Dra, tais como: menor que 61 %, baixo; 61 a 79 %, médio; e maior que 79 %, alto.

No tempo de operação inicial (0 h), quando não houve obstrução, as variações de vazão entre os gotejadores encontraram-se na faixa de  $\pm 7\%$  assim como o coeficiente de variação de fabricação ( $CV_f$ ) da amostra não deve exceder  $\pm 7\%$  estabelecida na NBR ISO 9261 (ABNT, 2006).

A pressão de serviço das unidades de irrigação foi monitorada, diariamente, com manômetro analógico possuindo glicerina, graduado de 0 a 400 kPa.

A qualidade da ARS foi monitorada a cada 20 h, juntamente com os indicadores de desempenho hidráulico das unidades de irrigação, totalizando nove amostragens até o tempo de operação de 160 h. Enquanto, a AA foi monitorada a cada 80 h, devido à menor variação das características físico-químicas e microbiológicas.

A ARS foi proveniente do Setor de Suínos da UFV, sendo a maior frequência do monitoramento atribuída as elevadas oscilações das características físico-químicas e biológicas do efluente em detrimento do manejo das instalações. Enquanto, AA foi oriunda da rede de abastecimento de água da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA).

Determinaram-se as características físico-químicas e biológicas da ARS e AA conforme as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (RICE et al., 2012). Na Tabela 2 estão apresentadas as características físicas, químicas e microbiológicas da ARS e da AA utilizadas nas unidades de irrigação.

**Tabela 2.** Valores médios e desvio padrão das características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária de suinocultura (ARS) e da água de abastecimento público (AA).

Tipo de fluido	Valores médios e desvio padrão das características							
	pH	SS	SD	Fe	Mn	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	PB
ARS	7,53±0,11	331±109	1828±224	5,14±2,99	0,57±0,18	5,18±0,92	2,53±0,64	8,6x10 <sup>5</sup> ±3,09*
AA	7,03±0,13	0±0	64±3	0,04±0,02	0±0	0,44±0,06	0,13±0,02	5,8x10 <sup>2</sup> ±3,83*

**Nota:** SS = sólidos suspensos, mg L<sup>-1</sup>; SD = sólidos dissolvidos, mg L<sup>-1</sup>; Fe = ferro total, mg L<sup>-1</sup>; Mn = Manganês total, mg L<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup> = cálcio, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; Mg<sup>2+</sup> = magnésio, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; PB = população bacteriana, UFC mL<sup>-1</sup>; e UFC = unidades formadoras de colônias. \* Média e desvio padrão geométrico.

As características potencial hidrogeniônico (pH), sólidos suspensos (SS) e dissolvidos (SD) foram determinados no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

As concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>) foram determinados nos Laboratórios de Matéria Orgânica e Resíduos, ambos do Departamento de Solos da UFV.

E as características microbiológicas, foram determinadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Microbiologia da UFV.

Os dados de CV<sub>q</sub>, Us e Dra foram representados por 12 combinações entre os tipos de gotejadores e as pressões de serviço, ao longo dos tempos de operação, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Combinações entre os tipos de gotejadores (G) e as pressões de serviço (P) utilizando análise multivariada de perfil.

Combinações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
G x P	G1xP1	G2xP1	G3xP1	G1xP2	G2xP2	G3xP2	G1xP3	G2xP3	G3xP3	G1xP4	G2xP4	G3xP4

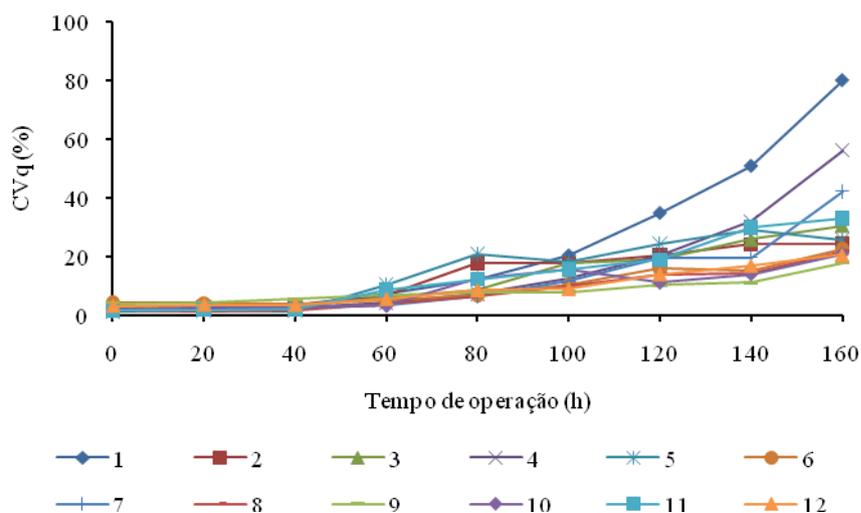
Os modelos de regressão, das 12 combinações entre os tipos de gotejadores e as pressões de serviço, ao longo dos tempos de operação, referente aos indicadores de desempenho hidráulico  $CV_q$ ,  $Us$  e  $Dra$  foram selecionados mediante os seguintes critérios: i) significância dos coeficientes de regressão, empregando-se o teste t em um nível de até 5%; e ii) valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual ou superior a 0,60.

Na realização das análises estatísticas utilizou-se o programa computacional R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se, na Figura 2, os valores médios do coeficiente de variação de fabricação ( $CV_q$ ) das unidades de irrigação, operando com água residuária de suinocultura (ARS) e água de abastecimento público (AA), ao longo do tempo de operação, para as combinações entre os tipos de gotejadores (G) e as pressões de serviço (P).

**Figura 2.** Valores médios do coeficiente de variação de fabricação ( $CV_q$ ) das unidades de irrigação, operando com água residuária de suinocultura (ARS) e água de abastecimento público (AA), ao longo do tempo de operação, destacando as combinações entre os tipos de gotejadores (G) e as pressões de serviço (P).



Notou-se, nessa figura, que os valores médios de  $CV_q$  de todas as combinações entre G e P foram menores que 10% no tempo de operação inicial (0 h), sendo classificados como bons pela ASABE (2008); ou seja quando não existe problema de obstrução dos gotejadores pode-se trabalhar com qualquer uma das 12 combinações entre G e P para aplicação de ARS e AA.

Entretanto, no tempo de operação final (160 h) a classificação do  $CV_q$  variou, conforme as combinações:

i) o valor médio de  $CV_q$  da combinação 9 encontrou-se na faixa limite de 10 a 20% estabelecida pela ASABE (2008), recebendo a classificação razoável, indicando a presença de entupimento dos gotejadores nesta condição operacional; e

ii) os valores médios de CV<sub>q</sub> das combinações restantes foram superiores a 20%, sendo classificados como inaceitáveis (ASABE, 2008), pois o nível de entupimento dos gotejadores compromete o desempenho hidráulico das unidades gotejadoras.

Estão apresentadas na Tabela 4 as equações de regressão ajustadas à variável CV<sub>q</sub> em função dos tempos de operação (T) das unidades de irrigação para a combinação entre modelos de gotejadores (G) e pressão de serviço (P). Constatou-se, nessa tabela, que o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre a variável dependente CV<sub>q</sub> e a variável independente T, das unidades de irrigação com as combinações 1, 4 e 7.

**Tabela 4.** Equações de regressão ajustadas à variável CV<sub>q</sub> em função dos tempos de operação (T) das unidades de irrigação para a combinação entre modelos de gotejadores (G) e pressão de serviço (P).

Combinação	Especificação	Equação de regressão	R <sup>2</sup>
1	G1 x P1	$CV_q = 5,290 - 0,281^{**}T + 0,0452^{**}T^2$	0,99
2	G2 x P1	$CV_q = 1/\sqrt{(0,395 - 0,00276^{**}T)}$	0,80
3	G3 x P1	$CV_q = 3,466 - 2,156^{**}T^{0,5} + 0,337^{**}T$	0,98
4	G1 x P2	$CV_q = 4,942 - 0,255^{**}T + 0,00341^{**}T^2$	0,97
5	G2 x P2	$CV_q = 1/\sqrt{(0,686 - 0,00517^{**}T)}$	0,73
6	G3 x P2	$CV_q = 5,078 - 1,726^{**}T^{0,5} + 0,234^{**}T$	0,94
7	G1 x P3	$CV_q = 2,967 - 0,149^{**}T + 0,00250^{**}T^2$	0,99
8	G2 x P3	$CV_q = 2,129 - 1,520^{**}T^{0,5} + 0,232^{**}T$	0,97
9	G3 x P3	$CV_q = 2,521 + 0,0732^{**}T$	0,84
10	G1 x P4	$CV_q = 0,160 + 0,116^{**}T$	0,83
11	G2 x P4	$CV_q = 2,025 - 2,010^{**}T^{0,5} + 0,350^{**}T$	0,98
12	G3 x P4	$CV_q = 3,732 - 1,316^{**}T^{0,5} + 0,205^{**}T$	0,98

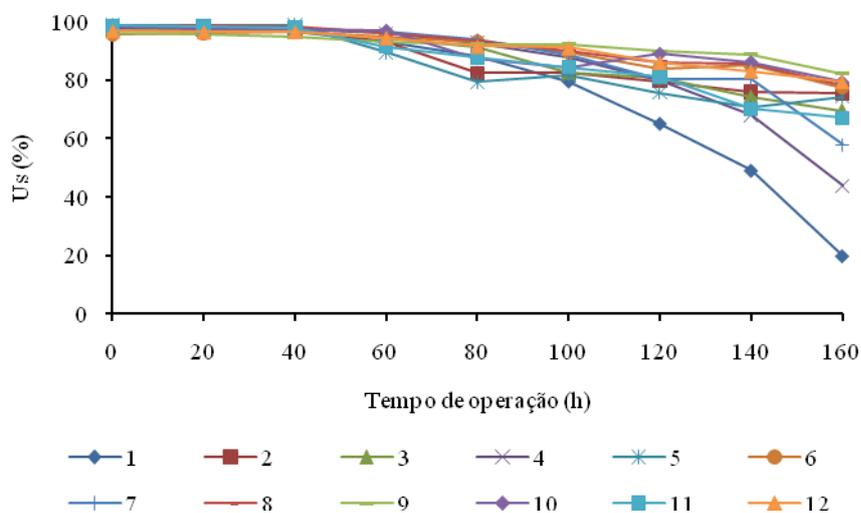
**Nota:** \*\* significativos a 1% de probabilidade pelo teste t.

Para as combinações 2 e 5, o modelo hiperbólico foi o que melhor representou a relação entre os dados de CV<sub>q</sub> e T. Observou-se que o modelo raiz quadrada foi o que melhor representou a relação entre os dados de CV<sub>q</sub> e T das unidades de irrigação sob as combinações 3, 6, 8, 11 e 12. Para as combinações 9 e 10, notou-se que o modelo linear foi o que melhor representou a relação entre os dados de CV<sub>q</sub> e T.

Estes resultados diferem dos obtidos por Batista et al. (2011) com gotejadores aplicando água residuária doméstica primária, secundária e terciária, onde somente os modelos de regressão linear e quadrático foram os que melhor se ajustaram a relação entre Us e T. Diferem, também, dos resultados obtidos por Batista et al. (2008) com gotejadores aplicando água residuária doméstica terciária, onde apenas os modelos de regressão linear e exponencial foram os que melhor se ajustaram a relação entre a variável dependente CV<sub>q</sub> e T.

Constam, na Figura 3, os valores médios do coeficiente de uniformidade estatística (Us) das unidades de irrigação, operando com água residuária de suinocultura (ARS) e água de abastecimento público (AA), ao longo do tempo de operação, destacando as combinações entre os tipos de gotejadores (G) e as pressões de serviço (P).

**Figura 3.** Valores médios do coeficiente de uniformidade estatística ( $U_s$ ) das unidades de irrigação, operando com água residuária de suinocultura (ARS) e água de abastecimento público (AA), ao longo do tempo de operação, destacando as combinações entre os tipos de gotejadores (G) e as pressões de serviço (P).



Verificou-se que os valores médios de  $U_s$  de todas as combinações entre tipos de gotejadores e pressões de serviço foram superiores a 89% no tempo de operação inicial (0 h), recebendo a classificação elevada proposta por Capra e Scicolone (1998), confirmando novamente que neste momento não existe problema de entupimentos dos gotejadores.

Já no tempo de operação final (160 h), os valores médios de  $U_s$  foram assim classificados:

i) os valores médios de  $U_s$  das combinações 2, 5, 6, 8, 9, 10 e 12 estão dentro da faixa de 71 a 89% estabelecida por Capra e Scicolone (1998), recebendo a classificação média; e

ii) os valores médios de  $U_s$  das combinações 1, 3, 4, 7 e 11 foram inferiores a 71%, sendo classificados como baixos, segundo o critério estabelecido por Capra e Scicolone (1998), revelando a intensificação do entupimento dos gotejadores neste momento do experimento.

Os resultados das combinações com maiores níveis de obstrução diferem daqueles obtidos por Batista et al. (2011), que notaram redução média de  $U_s$  de 54, 24 e 59%, em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando água residuária doméstica primária, secundária e terciária, respectivamente, após 500 h de operação.

Na Tabela 5 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas à variável  $U_s$  em função dos tempos de operação (T) das unidades de irrigação para a combinação entre modelos de gotejadores (G) e pressão de serviço (P). Semelhante ao que foi encontrado para  $CV_q$ , o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre  $U_s$  e T, das unidades de irrigação sob as combinações 1, 4 e 7.

**Tabela 5.** Equações de regressão ajustadas à variável  $U_s$  em função dos tempos de operação (T) das unidades de irrigação para a combinação entre modelos de gotejadores (G) e pressão de serviço (P).

Combinação	Especificação	Equação de regressão	R <sup>2</sup>
1	G1 x P1	$U_s = 94,710 + 0,281^{**}T - 0,0452^{**}T^2$	0,99
2	G2 x P1	$U_s = 1/(0,00987 - 0,0000223^{**}T)$	0,92
3	G3 x P1	$U_s = 96,534 + 2,156^{**}T^{0,5} - 0,337^{**}T$	0,98
4	G1 x P2	$U_s = 95,058 + 0,255^{**}T - 0,00341^{**}T^2$	0,97
5	G2 x P2	$U_s = 1/(0,00976 - 0,0000271^{**}T)$	0,90
6	G3 x P2	$U_s = 94,922 + 1,726^{**}T^{0,5} - 0,234^{**}T$	0,94
7	G1 x P3	$U_s = 97,030 + 0,149^{**}T - 0,00250^{**}T^2$	0,99
8	G2 x P3	$U_s = 97,871 + 1,520^{**}T^{0,5} - 0,232^{**}T$	0,97
9	G3 x P3	$U_s = 97,479 - 0,0732^{**}T$	0,84
10	G1 x P4	$U_s = 99,840 - 0,116^{**}T$	0,83
11	G2 x P4	$U_s = 97,975 + 2,010^{**}T^{0,5} - 0,350^{**}T$	0,98
12	G3 x P4	$U_s = 96,268 + 1,316^{**}T^{0,5} - 0,205^{**}T$	0,98

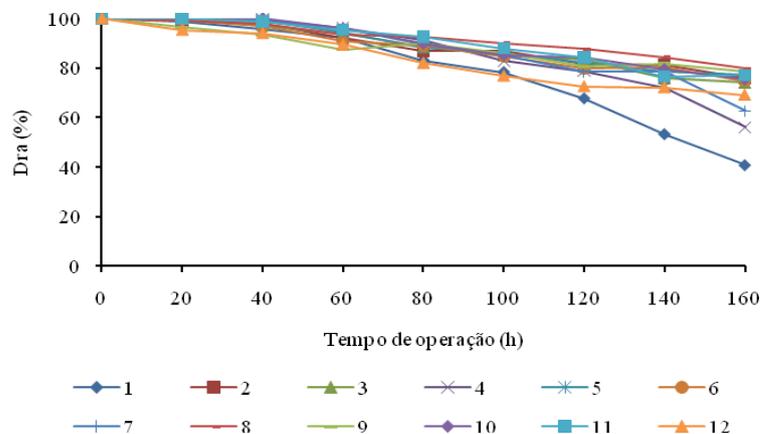
**Nota:** \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Em relação às combinações 2 e 5, o modelo hiperbólico foi o de melhor ajuste entre os dados de  $U_s$  em função de T, enquanto para as combinações 3, 6, 8, 11 e 12 o modelo raiz quadrada foi o que melhor representou a relação entre  $U_s$  e T. Por outro lado, o modelo linear foi o que melhor se ajustou a  $U_s$  em função de T para as combinações 9 e 10.

Todos esses modelos de regressão encontrados para  $U_s$ , diferem dos resultados obtidos por Batista et al. (2008) com unidades gotejadores operando com água residuária doméstica terciária, onde apenas o modelo de regressão exponencial foi o que melhor se ajustou a relação entre  $U_s$  e T.

Apresentam-se, na Figura 4, os valores médios do coeficiente da vazão relativa média ( $D_{ra}$ ) das unidades de irrigação, operando com água residuária de suinocultura (ARS) e água de abastecimento público (AA), ao longo do tempo de operação, destacando as combinações entre os tipos de gotejadores (G) e as pressões de serviço (P).

**Figura 4.** Valores médios do coeficiente da vazão relativa média ( $D_{ra}$ ) das unidades de irrigação, operando com água residuária de suinocultura (ARS) e água de abastecimento público (AA), ao longo do tempo de operação, destacando as combinações entre os tipos de gotejadores (G) e as pressões de serviço (P).



No tempo de operação inicial (0 h), notou-se que os valores médios de Dra de todas as combinações entre G e P foram superiores a 79%, recebendo a classificação elevada proposta por Capra e Scicolone (1998), evidenciando que não existe entupimento comprometendo o desempenho hidráulico das unidades gotejadoras.

Todavia, no tempo de operação final (160 h) a classificação do Dra variou com as combinações:

i) o valor médio de Dra da combinação 8 foi superior a 79%, recebendo a classificação elevado de Capra e Scicolone (1998), indicando que não houve obstrução que compromettesse o desempenho hidráulico das unidades gotejadoras;

ii) os valores médios de Dra das combinações 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11 e 12 encontram-se dentro da faixa de 61 a 79%, classificada como média por Capra e Scicolone (1998), evidenciando a presença de entupimento que começa a comprometer o desempenho das unidades gotejadoras; e

iii) os valores médios de Dra das combinações 1 e 4 foram inferiores ao valor limite de 61% estabelecido por Capra e Scicolone (1998), sendo classificados como baixos pois os níveis de entupimento afetam o desempenho das unidades gotejadoras.

Os resultados das combinações que apresentaram os maiores níveis de obstrução de gotejadores corroboram com Oliver et al. (2014), que obtiveram valores médios de Dra de 47, 63 e 79% em unidades de irrigação dotadas de gotejadores com vazões nominais de 1,60, 2,0 e 2,3 L h<sup>-1</sup>, respectivamente, após 3600 h de operação com água residuária doméstica tratada.

No trabalho desenvolvido por Batista et al. (2014) foram ensaiadas combinações similares entre os mesmos tipos de gotejadores e quatro tempos de irrigação ARS e AA, também durante 160 h. Ao final do experimento os referidos autores evidenciaram que os valores médios de Dra das combinações 4, 6 e 7 foram inferiores ao valor limite de 61% estabelecido por Capra e Scicolone (1998), sendo classificados como baixos.

Constam, na Tabela 6, as equações de regressão ajustadas à variável Dra em função dos tempos de operação (T) das unidades de irrigação para a combinação entre modelos de gotejadores (G) e pressão de serviço (P). Evidenciou-se para as combinações 1, 4, 5, 7, 8, 10 e 11 que o modelo raiz quadrada foi o que melhor representou a relação entre a variável Dra e tempo de operação.

**Tabela 6.** Equações de regressão ajustadas à variável Dra em função dos tempos de operação (T) das unidades de irrigação para a combinação entre modelos de gotejadores (G) e pressão de serviço (P).

Combinação	Especificação	Equação de regressão	R <sup>2</sup>
1	G1 x P1	$Dra = 98,857 + 4,126^{**} T^{0,5} - 0,658^{**} T$	0,97
2	G2 x P1	$Dra = 1 / \left( 0,00972 + 0,0000202^{**} T \right)$	0,96
3	G3 x P1	$Dra = 1 / \left( 0,00954 + 0,0000232^{**} T \right)$	0,95
4	G1 x P2	$Dra = 98,449 + 3,525^{**} T^{0,5} - 0,509^{**} T$	0,96
5	G2 x P2	$Dra = 100,000 + 0,925^{*} T^{0,5} - 0,231^{**} T$	0,98
6	G3 x P2	$Dra = 1 / \left( 0,00970 + 0,0000216^{**} T \right)$	0,97
7	G1 x P3	$Dra = 99,000 + 2,852^{**} T^{0,5} - 0,441^{**} T$	0,99
8	G2 x P3	$Dra = 99,806 + 0,683^{*} T^{0,5} - 0,172^{**} T$	0,94
9	G3 x P3	$Dra = 98,607 - 0,131^{**} T$	0,94
10	G1 x P4	$Dra = 100,000 + 1,378^{**} T^{0,5} - 0,266^{**} T$	0,98
11	G2 x P4	$Dra = 99,741 + 1,489^{**} T^{0,5} - 0,270^{**} T$	0,98
12	G3 x P4	$Dra = 100,000 - 0,210^{**} T$	0,97

**Nota:** \*\*e \* significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Nas combinações 2, 3 e 6 o modelo hiperbólico foi o que melhor representou a relação entre os dados de Dra e o tempo de operação. Enquanto, nas combinações 9 e 12 o modelo linear foi o que melhor representou a relação entre os dados de Dra e o tempo de operação.

Já no trabalho de Batista et al. (2014) notou-se que os modelos raiz quadrada, linear e quadrático foram os que melhor se ajustaram aos dados de Dra em função do tempo de operação, para as 12 combinações entre três modelos de gotejadores e quatro tempos de irrigação com água residuária de suinocultura e água de abastecimento, durante 160 h.

## 6 CONCLUSÕES

Após 160 h de aplicação de água residuária de suinocultura e água de abastecimento público houve comprometimento do desempenho hidráulico das unidades gotejadoras em função do entupimento dos gotejadores.

Os modelos de regressão quadrático, hiperbólico, raiz quadrada e linear foram os de melhor ajuste aos dados do coeficiente de variação de vazão e coeficiente de uniformidade estatística em função do tempo de operação, enquanto os modelos raiz quadrada, hiperbólico e linear foram os mais adequados para o coeficiente de vazão relativa média.

## 7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

## 8 REFERÊNCIAS

ASABE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASAE EP405.1 APR1988 (R2008). **Design and installation of microirrigation systems**. St. Joseph: ASABE, 2008. 5p.

ARRUDA, C. A. O.; ALVES, M. V.; MAFRA, A. L.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p.804-809, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.; SOUZA, J. A. R.; BATISTA, R. O. Modelos empíricos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 3, p.369-377, 2008.

BATISTA, R. O.; BEZERRA COSTA, F. G.; LOPES, H. S. S.; COELHO, D. C. L.; COSTA PAIVA, M. R. F. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação

de sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p.137-144, 2011.

BATISTA, R. O.; SANTOS, D. B.; FERREIRA NETO, M.; SANTOS, W. O.; BARRETO, H. B. F. Efficiency of chemical treatment on drip irrigation systems with sanitary sewage. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 1, n. 1, p.25-29, 2012.

BATISTA, R. O.; SILVA JÚNIOR, M. J.; SANTOS, D. B.; CUNHA, F. F.; MESQUITA, F. O.; FREIRE, F. G. C. Gotejadores aplicando proporções de tempo de irrigação com efluente da suinocultura e água de abastecimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1746-1756, 2014.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p.823-831, 2011.

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.

COSTA, D. O.; BATISTA, R. O.; VALE, H. S. M.; SOUSA, A. B.; DOMBROSKI, S. A. G.; ALVES, S. M. C. 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.

DAZHUANG, Y.; ZHIHUI, B.; ROWAN, M.; LIKUN, G.; SHUMEI, R.; PEILING, Y. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. **Journal of Environmental Sciences**, Beijing, v. 21, n. 6, p.834-841, 2009.

DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUE'S, J.; ARBAT, G.; BARRAGA'N, J.; RAMI'REZ DE CARTAGENA, F. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 67-79, 2009.

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.

MARQUES, B. C. D.; CUNHA, V. T.; CUNHA, V. T.; SILVA, K. B.; BATISTA, R. O. Desempenho de gotejadores operando com água residuária de laticínios em escala laboratorial. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 140-155, 2016.

NUNES, M. A. G.; KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; PANIZ, J. N. G. Aplicação de efluente tratado de suinocultura para diluição de dejetos suínos e remoção de nitrogênio por desnitrificação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p.388-398, 2011.

OLIVER, M. M. H.; HEWA, G. A.; PEZZANITI, D. Bio-fouling of subsurface type drip emitters applying reclaimed water under medium soil thermal variation. **Agricultural Water Management**, v. 133, n. 1, p. 12-23, 2014.

ORON, G.; CAMPOS, C.; GILLERMAN, L.; SALGOT, M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p.223-234, 1999.

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; ELBANA, M.; DURAN-ROS, M.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F.; LAMM, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, p.883-891, 2010.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, 2010. Disponível em:<<http://www.R-project.org>>. Acesso em 20 de janeiro de 2015.

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**, Viçosa, v.60, n. 3, p.339-346, 2013.

SILVA, K. B.; SILVA JÚNIOR, M. J.; BATISTA, R. O.; SANTOS, D. B.; BATISTA, R. O.; LEMOS FILHO, L. C. A. Irrigação por gotejamento com água residuária tratada da indústria da castanha de caju sob pressões de serviço. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.35, n. 2, p.695-706, 2014.