

## SENSIBILIDADE DE GOTEJADORES À OBSTRUÇÃO POR PARTÍCULAS DE AREIA

ACÁCIO PERBONI<sup>1</sup>; JOSÉ ANTONIO FRIZZONE<sup>2</sup>; RUBENS DUARTE COELHO<sup>2</sup>;  
ROGÉRIO LAVANHOLI<sup>3</sup> E EZEQUIEL SARETTA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Professor, IFMT, Campo Novo do Parecis - MT, [acacio.perboni@cnp.ifmt.edu.br](mailto:acacio.perboni@cnp.ifmt.edu.br)

<sup>2</sup> Professor, Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba - SP, [frizzone@usp.br](mailto:frizzone@usp.br); [rdcoelho@usp.br](mailto:rdcoelho@usp.br)

<sup>3</sup> Doutorando, Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba - SP, [rogeriolavanholi@hotmail.com](mailto:rogeriolavanholi@hotmail.com)

<sup>4</sup> Professor, UFSM, Cachoeira do Sul - RS, [ezequielsaretta@gmail.com](mailto:ezequielsaretta@gmail.com)

### 1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tamanho e concentração de partículas de areia e da velocidade de fluxo da água nas linhas na sensibilidade à obstrução de um modelo de gotejador do tipo cilíndrico, não regulado, com vazão nominal de 2 L h<sup>-1</sup>. Foram realizados ensaios de obstrução com areia misturada em água destilada, combinando os seguintes fatores: três faixas granulométricas de partículas de areia, três concentrações de areia e três velocidades de fluxo de água no tubo. A vazão de 32 gotejadores foi medida a cada doze minutos por meio de um sistema automatizado. Nos ensaios com faixa granulométrica de 0,105 a 0,25 mm, ocorreu a obstrução nas concentrações de 250 e 500 mg L<sup>-1</sup>, para os regimes de escoamento de transição e turbulento. Já na faixa granulométrica de 0,25 a 0,5 mm, ocorreu obstrução nas concentrações de 100, 250 e 500 mg L<sup>-1</sup>, para os regimes de escoamento de transição e turbulento. A obstrução de gotejadores ocorreu de forma aleatória nas oito linhas. Após obstruídos os gotejadores não desobstruíram com o passar do tempo de ensaio.

**Palavras-chave:** microirrigação, partículas sólidas inertes, granulometria, concentração

**PERBONI, A.; FRIZZONE, J. A.; COELHO, R. D.; LAVANHOLI, R.; SARETTA, E.  
SENSITIVITY OF DRIPPERS TO CLOGGING CAUSED BY SAND PARTICLES**

### 2 ABSTRACT

The purpose of this research was to assess the influence of concentration and size of sand particles, and water flow velocity in laterals on the sensitivity of drippers to clogging. A cylindrical integrated non-pressure compensating dripper of 2 L h<sup>-1</sup> nominal flow rate was used. Experiments were undertaken using distilled water and sand particles, according to the following levels: (a) three ranges of particles sizes; (b) three concentrations of particles; and, (c) three flow velocities in the laterals. The flow rate of 32 drippers was measured at every 12 minutes by an automated system. Within the range of particle sizes from 0.105 to 0.25 mm, clogging of emitters was observed under

transient and turbulent flow regimes, and under particles concentration of 250 and 500 mg L<sup>-1</sup>. Within the range of particles sizes from 0.25 to 0.5 mm, clogging was observed for all concentrations under transient and turbulent flow regimes. Clogging of emitters occurred as a random phenomenon. Once clogged, emitters did not recover their initial flow rate.

**Keywords:** micro irrigation, inert solid particles, particle size, concentration

### 3 INTRODUÇÃO

A obstrução de emissores é considerada um dos maiores problemas de manutenção em microirrigação (CAPRA; SCICOLONE, 1998; NIU; LIU; CHEN, 2012; ZHANG et al., 2010), estando diretamente associada à qualidade da água de irrigação (DURAN-ROS et al., 2009; NAKAYAMA; BUCKS, 1991). Na maioria das vezes esse problema provém de filtragem insuficiente, tratamento químico inadequado da água, limpeza de linhas laterais (“flushing”) pouco frequente (LAMM; CAMP, 2007) ou monitoramento inadequado do comportamento hidráulico do sistema.

Problemas de obstrução tem como origem a ação individual ou combinada de agentes de natureza física, química e biológica, sendo que a obstrução por sólidos em suspensão tem sido reportada como a causa mais comum dos problemas de obstrução (ADIN; ALON, 1986; NAKAYAMA; BUCKS, 1991; TAYLOR et al., 1995; LI et al., 2012). Problemas de obstrução dessa natureza são causados por partículas em suspensão que podem ser de origens inorgânicas (areia, silte, argila e plásticos), orgânicas (organismos aquáticos, zooplâncton, caramujos e peixes) e organismos não aquáticos (larvas de insetos, formigas e aranhas) (GILBERT; NAKAYAMA; BUCKS, 1979). A entrada de materiais inorgânicos em linhas laterais de irrigação pode acontecer: no momento da montagem do sistema de irrigação; devido às rupturas na tubulação que ocasionam a

entrada de solo nas linhas (COELHO et al., 2007); através dos gotejadores, devido à pressão negativa criada após o sistema de irrigação ser desligado (TAYLOR et al., 1995); ou, mais comumente, pela sucção da bomba via água de irrigação.

A obstrução por partículas sólidas pode ocorrer de duas maneiras: a) completa, quando o tamanho da partícula é maior que a seção de passagem do emissor; b) parcial, por acúmulo lento de partículas, quando partículas finas são depositadas gradualmente na tubulação ou no interior de emissores, essa deposição geralmente ocorre no final da linha gotejadora e próximo à entrada do labirinto do emissor (GILBERT; NAKAYAMA; BUCKS, 1979; NIU; LIU; CHEN, 2012; BOUNOUA et al., 2016). A principal estratégia para controlar a obstrução causada por partículas sólidas é a utilização de filtros (ADIN; LIMELECH, 1989; DURAN-ROS et al., 2009).

Diante do exposto, esse trabalho foi proposto com o objetivo de avaliar a influência do tamanho e concentração de partículas de areia, e da velocidade de fluxo de água nas linhas laterais, na obstrução de gotejadores.

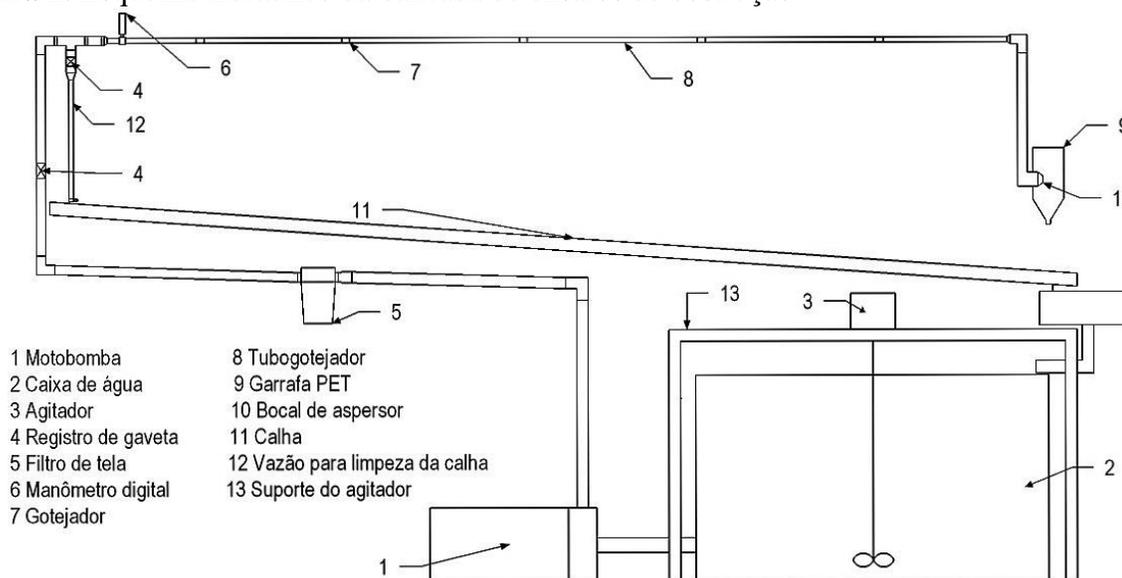
### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biosistemas do campus “Luiz de Queiroz” da USP, em Piracicaba – SP. A bancada de ensaios utilizada (Figura 1)

possuía um reservatório de polietileno com capacidade para 250 L, em conjunto com um agitador mecânico para manutenção da mistura de partículas sólidas em suspensão. O

agitador mecânico era dotado de uma hélice cuja velocidade de rotação era controlada por inversor de frequência, que comandava o motor elétrico.

**Figura 1.** Esquema hidráulico da bancada de ensaios de obstrução.

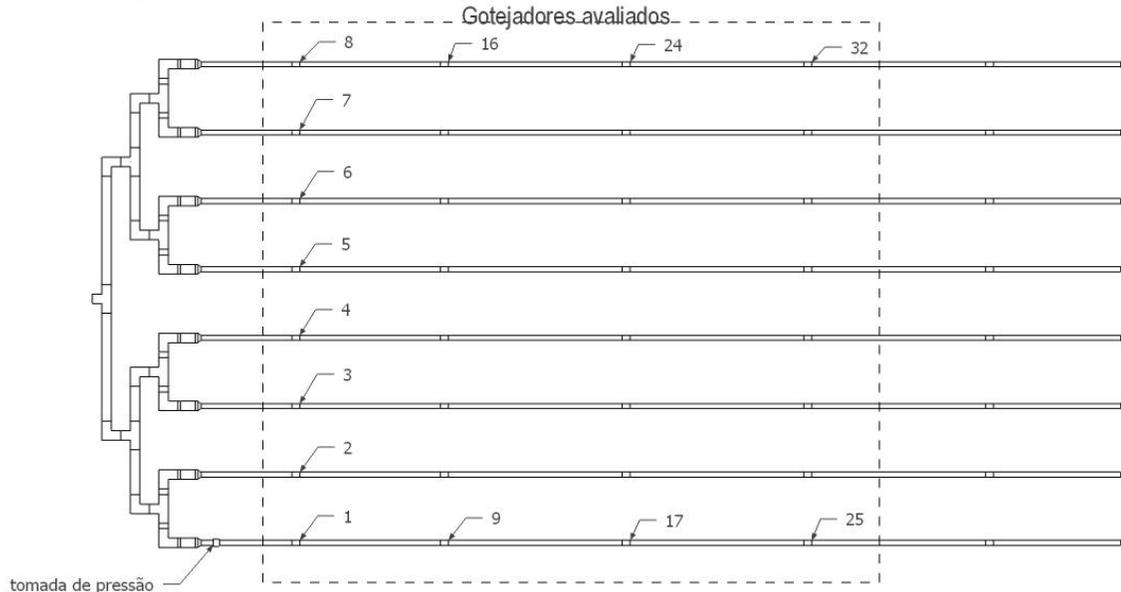


Devido ao efeito abrasivo da areia, o corpo e o rotor da motobomba podem soltar partículas metálicas capazes de obstruir os gotejadores, por isso foi instalado um filtro de tela na saída da motobomba. Porém, o tamanho das aberturas da tela do filtro utilizado precisa ser maior que o diâmetro médio das partículas de areia, para evitar sua retenção. Foram utilizados elementos filtrantes de tela de 160; 50 e 30 mesh, um para cada faixa de diâmetro de partículas.

Utilizaram-se oito linhas de gotejadores, espaçadas em 0,18 metros e com comprimento máximo de 5 metros (Figura 2). O início de cada linha foi conectado a uma linha de derivação com bifurcações, que assegurava a distribuição uniforme de vazão

entre as linhas. Bocais de microaspersor e aspersor foram instalados no final das linhas para controlar a velocidade de fluxo de água nas linhas, conforme o regime de escoamento desejado.

O modelo de tubogotejador utilizado foi o NaanTIF®, equipado com um gotejador do tipo cilíndrico, não regulado e com vazão nominal de  $2 \text{ L h}^{-1}$ . O diâmetro nominal do tubo é de 16 mm, com diâmetro interno de 14 mm, gotejadores espaçados em 1 m, operando sob pressões de 98,1 a 343 kPa. A pressão de operação utilizada no experimento foi de 98,1 kPa, que era monitorada com manômetro digital conectado no início da primeira linha (Figura 2).

**Figura 2.** Gotejadores avaliados nos ensaios de obstrução.

As medições de vazão foram realizadas em intervalos de 12 minutos, por meio de um sistema automatizado. Os coletores utilizados dispunham de um transdutor para medições do nível de água, e uma válvula para a drenagem do mesmo. Em cada linha foram monitorados quatro gotejadores, totalizando 32 coletores, um para cada gotejador (Figura 2). O número de coletores adotado foi maior que o número mínimo de 25 gotejadores avaliados exigido na norma ABNT NBR ISO 9261 (2006).

O modelo de tubo-gotejador avaliado inicialmente foi submetido ao ensaio para determinação do coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação (CVFq), utilizando apenas água destilada, e este foi próximo a 2%. A vazão inicial de 32 gotejadores foi registrada para permitir a análise da evolução de obstrução em cada gotejador ao final dos experimentos. O material utilizado nos experimentos com partículas sólidas inertes foi a areia para filtros de piscina, marca FUSATI, descrita tecnicamente como areia de sílica, livre de carbonatos e matéria orgânica, com

granulometria controlada. Foi escolhido um material comercial porque tem maior disponibilidade e para permitir a reprodução fiel das avaliações propostas nesta pesquisa. As partículas de areia foram separadas usando o agitador e peneiras, conforme as faixas de tamanho necessárias.

Para avaliação da sensibilidade de emissores à obstrução, utilizou-se água destilada para todos os ensaios, nos quais se utilizaram as seguintes combinações de fatores:

- Concentração de partículas em suspensão: C1=100 mg L<sup>-1</sup>; C2=250 mg L<sup>-1</sup>; C3=500 mg L<sup>-1</sup>;
- Faixas granulométricas: G1=53-105 µm; G2=105-250 µm; G3=250-500 µm;
- Regimes de escoamento: V1= 0,13 m s<sup>-1</sup> (laminar com número de Reynolds de 1814,5); V2= 0,25 m s<sup>-1</sup> (transição com número de Reynolds de 3489,5); e V3= 0,94 m s<sup>-1</sup> (turbulento com número de Reynolds de 13120,6).

A fim de permitir uma análise detalhada e individual sobre como cada fator contribui individualmente para o processo de

obstrução de emissores, a cada etapa foi variado apenas um dos fatores de acordo com a Tabela 1. O tempo de ensaio para cada combinação de três fatores foi de 48 horas, sendo que no final de cada um adicionava-se a quantidade de areia necessária para elevar a

concentração para a próxima combinação, até concluir a respectiva etapa. Ao final de cada etapa (144 horas), os tubos foram substituídos por novos, foi realizada limpeza do sistema e a água do reservatório substituída.

**Tabela 1.** Cronograma de ensaios.

Etapa	Intervalo de tempo dos ensaios (h)		
	0-48	48-96	96-144
1	V1-G1-C1	V1-G1-C2	V1-G1-C3
2	V1-G2-C1	V1-G2-C2	V1-G2-C3
3	V1-G3-C1	V1-G3-C2	V1-G3-C3
4	V2-G1-C1	V2-G1-C2	V2-G1-C3
5	V2-G2-C1	V2-G2-C2	V2-G2-C3
6	V2-G3-C1	V2-G3-C2	V2-G3-C3
7	V3-G1-C1	V3-G1-C2	V3-G1-C3
8	V3-G2-C1	V3-G2-C2	V3-G2-C3
9	V3-G3-C1	V3-G3-C2	V3-G3-C3

Um conjunto de gotejadores foi considerado obstruído quando a razão de vazão entre vazão atual dos gotejadores era de 75% em relação à inicial. Esse critério tem sido utilizado por diferentes autores e tem sido aplicado em diversos trabalhos que

buscam caracterizar o processo de obstrução (WEI et al., 2008; NIU; LIU; CHEN, 2012; ZHANG et al., 2017; ZHOU et al., 2017). Esta razão de vazão foi calculada por meio da eq. (1).

$$\text{Razão de vazão (\%)} = 100 \left( \frac{\sum_{i=1}^N q_{\text{atual}}}{N q_{\text{inicial}}} \right) \quad (01)$$

Em que,

N é o número de gotejadores avaliados, 32;

$q_{\text{atual}}$  é a vazão atual de cada um dos N gotejadores medida a cada doze minutos durante o ensaio de obstrução; e,

$q_{\text{inicial}}$  é a vazão média dos N gotejadores determinada com água destilada antes de adicionar areia na água e na mesma pressão utilizada no ensaio de obstrução.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

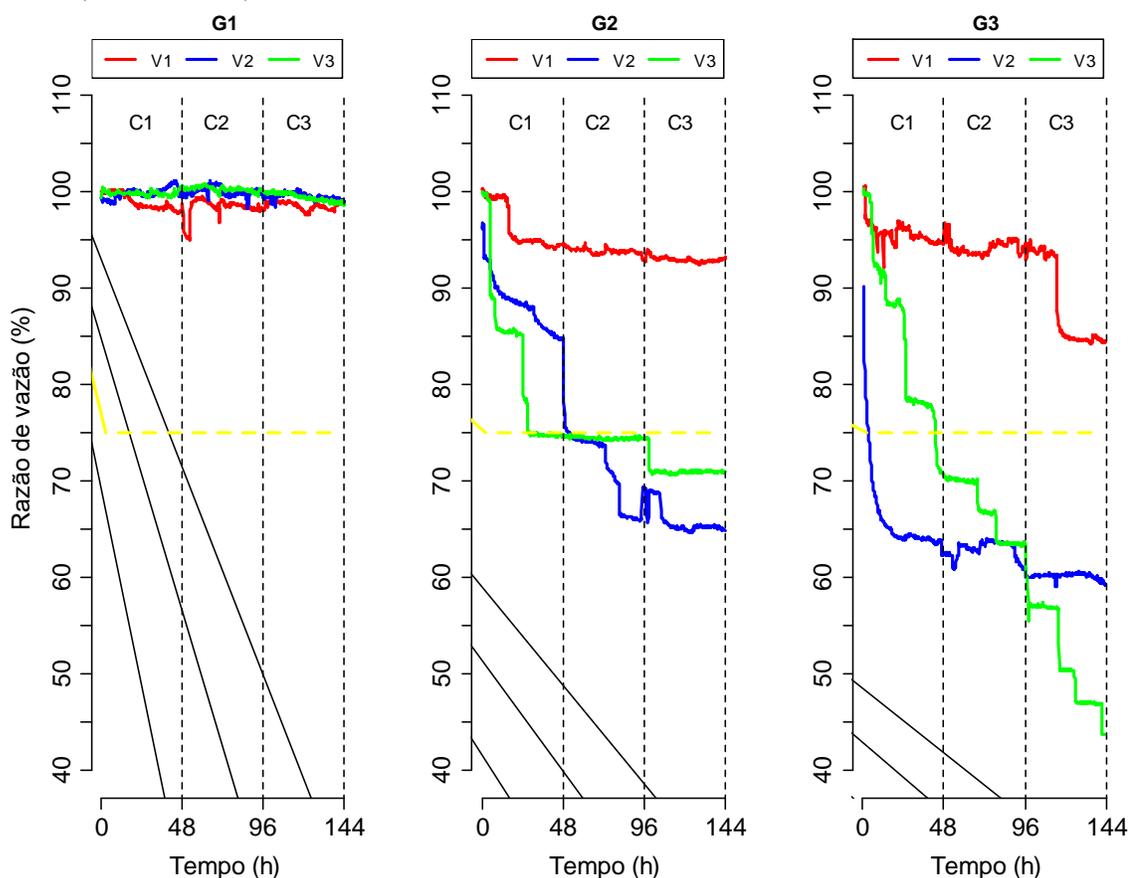
Para todas as combinações de velocidades e concentrações nos ensaios com a G1, a razão de vazão ficou acima de 95% (Figura 3), o que indica que o modelo de gotejador avaliado não foi sensível a essa

faixa granulométrica. Resultados semelhantes foram apresentados por Niu, Liu e Chen (2012), cuja razão de vazão para partículas com diâmetros na faixa de 58 a 100  $\mu\text{m}$  ficou acima de 85%, para concentrações de até 2000  $\text{mg L}^{-1}$ . Wei et al. (2008), que avaliaram três modelos de gotejadores,

também reportaram que os emissores não apresentaram sensibilidade a obstrução para a faixa de tamanho de partículas equivalente a

toda a faixa da G1 e parte da faixa da G2, mesmo para concentração de até  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ .

**Figura 3.** Razão de vazão dos gotejadores para as combinações de granulometrias de partículas (G1, G2 e G3), velocidades de escoamento (V1, V2 e V3) e concentrações de partículas (C1, C2 e C3).



Para a faixa granulométrica G2 ocorreu obstrução imediatamente após o aumento da concentração para C2, para ambos os regimes V2 e V3. Conseqüentemente, para a concentração subsequente C3 a razão de obstrução se manteve menor que 75%. Para a maior faixa granulométrica utilizada, G3, ocorreu obstrução para todas as concentrações nos regimes V2 e V3.

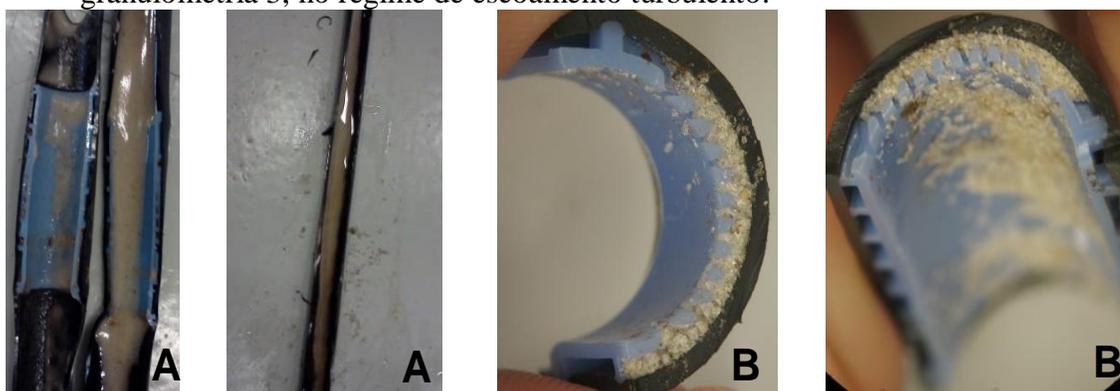
Na V1, que corresponde ao regime laminar, os emissores não apresentaram

sensibilidade à obstrução, sendo que a razão de vazão ficou acima de 75% para todas as combinações de granulometria e concentração. Esse resultado pode ser considerado inconsistente, e não corresponde às condições reais observadas a campo, pois se sabe que os problemas de obstrução são mais severos nos finais de linhas onde as velocidades de fluxo favorecem a sedimentação e acúmulo de partículas (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

Os resultados obtidos para V1 são inválidos e se justificam por uma falha na metodologia de ensaios adotada para as condições de escoamento em regime laminar. Durante os ensaios foi observado que aproximadamente 15 minutos após o início dos experimentos já não havia mais areia retornando para o reservatório, ou seja, assim que as partículas entravam nas linhas, a velocidade de escoamento ( $0,13 \text{ m s}^{-1}$ ) era insuficiente para manter as partículas em

suspensão. Desse modo, em um curto intervalo de tempo a maior parte das partículas rapidamente se depositava ao longo dos tubos e não atingia os gotejadores. Ao mesmo tempo, a concentração de partículas no tanque decaía para praticamente zero, não havendo mais nenhum potencial de obstrução. Na Figura 4A pode ser observada a deposição de areia no tubo gotejador que operou sob V1.

**Figura 4.** A) Acúmulo de areia nos tubos gotejadores durante ensaio no regime de escoamento laminar. B) Obstrução do pré-filtro do gotejador ocasionada por partículas da granulometria 3, no regime de escoamento turbulento.



Na Figura 4B pode ser visualizada a obstrução de um gotejador causada pela aglomeração de partículas da G3 no pré-filtro dos gotejadores.

Para os três tratamentos com a granulometria G1 não ocorreu a obstrução de nenhum gotejador (Tabela 2). A G1 pode ser desconsiderada em ensaios de obstrução por partículas de areia, com o modelo de gotejador avaliado. Com as granulometrias G2 e G3 ocorreu a obstrução de mais gotejadores nas V2 e V3 que na V1. Nos tratamentos com a granulometria G2 ocorreu a obstrução de 9 e 8 gotejadores nos regimes de escoamento de transição e turbulento, respectivamente.

**Tabela 2.** Número de gotejadores obstruídos em cada tratamento.

Tratamento	G1V1	G1V2	G1V3	G2V1	G2V2	G2V3	G3V1	G3V2	G3V3
Gotejadores obstruídos	0	0	0	1	9	8	4	12	16

No tratamento G3V1 ocorreu a obstrução de quatro gotejadores no total, sendo simultânea a obstrução dos gotejadores 4, 10 e 14 a partir de 115 h de ensaio. Já no

tratamento G3V2 ocorreu a obstrução de 11 gotejadores em menos de 12 horas, esse tratamento deve ser considerado em ensaios de curta duração. Na combinação de G3 e V3,

16 gotejadores obstruíram na faixa de tempo de 5,2 a 141,8 horas, e apenas um gotejador obstruiu após 130 horas de ensaio. Para o modelo de gotejador avaliado indica-se filtragem com elemento de tela de 160 mesh (retém partículas da G2 e G3).

Zhang et al.(2017) avaliaram a sensibilidade de um modelo de emissor tipo plano operando com solução contendo partículas de areia com tamanho inferior a 0,125 mm e observaram razão de vazão de 63,5% em um teste de curta duração com tempo de funcionamento de 30 min. Li et al. (2006), avaliando o comportamento de 16 modelos de emissores com diferentes características geométricas submetidos a ensaios com água contendo partículas sólidas em suspensão, identificaram que 15 modelos foram obstruídos por partículas com granulometria na faixa entre 0,07 e 0,31 mm, sendo que dentre eles 12 modelos foram obstruídos por partículas com granulometria superior a 0,1 mm, correspondente à faixa G2 e parte da faixa G3. Por outro lado, em experimento realizado em condições de campo, Taylor et al. (1995) constataram que partículas com diâmetro na faixa de 0,360-1,08 mm, foram a causa da obstrução de 207 dos 211 gotejadores obstruídos. Esse diâmetro de partículas equivale a parte da faixa da G3 da presente pesquisa. Porém, deve-se lembrar que em situações de campo a obstrução tem como origem a ação individual ou combinada de agentes de natureza física, química e biológica. Nessas condições as partículas da G1 podem contribuir com a obstrução dos gotejadores, devido à aglomeração com outras partículas, precipitados e biofilmes.

Durante a análise dos dados obtidos nos experimentos foi constatado que a obstrução dos gotejadores ocorre de forma aleatória, e que na maioria dos casos a obstrução ocorreu de forma abrupta. Isso significa que a vazão do gotejador se reduz

em curto período de tempo até obstruir, e em menor frequência ocorre redução lenta de vazão até a obstrução. Isso condiz com as observações de Nakayama e Bucks (1991), que a obstrução parcial ou total de gotejadores pode ocorrer gradualmente ou instantaneamente.

Até ocorrer a obstrução dos gotejadores pode ocorrer o fenômeno de autolimpeza, que ocorreu quando houve picos de variação de vazão. No entanto, uma vez obstruído o gotejador não desobstrui com o passar do tempo, mesmo em situações de queda de energia, quando a motobomba necessitava ser religada. Já Adin e Sacks (1991) observaram que ocasionalmente ao acionar a motobomba ocorria a desobstrução de gotejadores.

## 6 CONCLUSÕES

1) Para todas as combinações de velocidades e concentrações nos ensaios com partículas na faixa granulométrica de 0,053 a 0,105 mm, a razão de vazão ficou acima de 95%;

2) Os resultados obtidos nos experimentos sob regime de escoamento laminar são inconsistentes e se devem a uma falha na metodologia proposta para essa condição de escoamento;

3) Em ensaios com faixa granulométrica de 0,105 a 0,25 mm ocorreu a obstrução nas concentrações de 250 e 500 mg L<sup>-1</sup>, para os regimes de escoamento de transição e turbulento;

4) Na faixa granulométrica de 0,25 a 0,5 mm ocorreu obstrução de gotejadores para todas as concentrações nos regimes de escoamento de transição e turbulento;

5) No tratamento com a faixa granulométrica de 0,25 a 0,5 mm sob regime de escoamento de transição a obstrução teve

evolução rápida (menos de 12 horas) para 11 gotejadores;

6) A obstrução de gotejadores ocorreu de forma aleatória nas oito linhas;

7) Após obstruídos os gotejadores não desobstruíram com o passar do tempo de ensaio, mesmo em situações em que a motobomba necessitou ser religada.

Em pesquisas futuras visando o estudo de processos de obstrução em regime laminar é essencial que haja monitoramento da concentração e adição periódica de partículas no reservatório, a fim de evitar resultados inconsistentes e conclusões incorretas

## 7 REFERÊNCIAS

ADIN, A.; ALON, G. Mechanisms and Process Parameters of Filters Screens. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 112, n. 4, p. 293–304, 1986.

ADIN, A.; ELIMELECH, M. Particle Filtration for Wastewater Irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 115, n. 3, p. 474–487, 1989.

ADIN, A.; SACKS, M. Dripper-Clogging Factors in Wastewater Irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 117, n. 6, p. 813–826, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9261**: equipamentos de irrigação agrícola – emissores e tubo emissores – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006. 17 p.

BOUNOUA, S.; TOMAS, S.; LABILLE, J.; MOLLE, B.; GRANIER, J.; HALDENWANG, P.; IZZATI, S. N. Understanding physical clogging in drip irrigation: in situ, in-lab and numerical approaches. **Irrigation Science**, v. 34, n. 4, p. 1–16, 2016.

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

COELHO, R. D.; VILELA, L. A. A.; RESENDE, R. S.; MARCONI, B. T.; SÁ, J. S de. Entupimento de gotejadores em decorrência de pulsos de partículas sólidas na malha hidráulica., **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 1, p. 108-122, 2007.

DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; CARTAGENA, F. R de. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 67-79, 2009.

GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle Irrigation: Prevention of Clogging. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 3, p. 514 -519, 1979.

LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. **Micro irrigation for crop production: Design, Operation and Management**. Amsterdam: Elsevier, 2007. 642 p.

- LI, G. Y.; WANG, J. D.; ALAM, M.; ZHAO, Y. F.; G. Y. LI; J. D. WANG; M. ALAM; Y. F. ZHAO. Influence of geometrical parameters of labyrinth flow path of drip emitters on hydraulic and anti-clogging performance. **Transactions of the ASABE**, v. 49, n. 3, p. 637–643, 2006.
- LI, Y.; ZHOU, B.; LIU, Y.; JIANG, Y.; PEI, Y.; SHI, Z. Preliminary surface topographical characteristics of biofilms attached on drip irrigation emitters using reclaimed water. **Irrigation Science**, New York, v. 31, n. 4, p. 557-574, 2012.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, New York, v. 12, n. 3, p. 187-192, 1991.
- NIU, W.; LIU, L.; CHEN, X. Influence of fine particle size and concentration on the clogging of labyrinth emitters. **Irrigation Science**, New York, v. 31, n. 4, p. 545-555, 2012.
- TAYLOR, H. D.; BASTOS, R. K. X.; PEARSON, H. W.; MARA, D. D. Drip irrigation with waste stabilisation pond effluents: solving the problem of emitter fouling. **Water Science and Technology**, London, v. 31, n. 12, p. 417-424, 1995.
- WEI, Q.; SHI, Y.; LU, G.; DONG, W.; HUANG, S. Rapid Evaluations of Anticlogging Performance of Drip Emitters by Laboratorial Short-Cycle Tests. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 134, n. 3, p. 298–304, 2008.
- ZHANG, J.; ZHAO, W.; TANG, Y.; LU, B. Anti-clogging performance evaluation and parameterized design of emitters with labyrinth channels. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 74, n.1, p. 59-65, 2010.
- ZHANG, L.; WU, P.; ZHU, D.; ZHENG, C. Effect of pulsating pressure on labyrinth emitter clogging. **Irrigation Science**, v. 35, n. 4, p. 267–274, 2017.
- ZHOU, B.; LI, Y.; SONG, P.; ZHOU, Y.; YU, Y.; BRALTS, V. Anti-clogging evaluation for drip irrigation emitters using reclaimed water. **Irrigation Science**, v. 35, n. 3, p. 181–192, 2017.