

AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DE GOTEJADORES À OBSTRUÇÃO POR PARTÍCULAS SÓLIDAS

Jonesmar de Oliveira¹, Gustavo Lopes Muniz², Antonio Pires de Camargo³, Aline Azevedo
Nazário⁴, Nicolás Duarte Cano⁵, Túlio Assunção Pires Ribeiro⁶

RESUMO: Esse trabalho teve como objetivo quantificar flutuações na vazão de gotejadores submetidos a ensaios de obstrução por partículas sólidas. Oito modelos comerciais de gotejadores foram avaliados simultaneamente, sendo realizadas três repetições dos experimentos em laboratório. Para assegurar condições de repetitividade, utilizou-se água deionizada, a qual adicionou-se partículas com granulometria e concentração controladas. Diariamente, o pH da água foi controlado e rotina de cloração foi executada. O protocolo de ensaios para estudo da sensibilidade de gotejadores à obstrução baseou-se na proposta de norma ISO/DTR 21540. Os modelos de emissores C, D, E, G e H apresentaram tendência de elevada resistência à obstrução provocada por partículas sólidas na água de irrigação, já que não foi caracterizada obstrução em nenhuma das etapas do ensaio. Todavia, recomenda-se maior cautela com filtragem e rotinas de manutenção do sistema de irrigação ao se utilizar os modelos A, B e F, dada a menor resistência à obstrução observada durante os experimentos. Obteve-se repetitividade suficiente de resultados para afirmar que determinado modelo de gotejador é sensível a água contendo partículas com tamanho e concentração superiores a dado limiar.

PALAVRAS-CHAVE: gotejamento; microirrigação; entupimento de emissores.

EVALUATION OF DRIPPERS SENSITIVITY TO CLOGGING CAUSED BY SOLID PARTICLES

ABSTRACT: The purpose of this research was to quantify variations in the discharge of emitters subjected to clogging tests due to solid particles. Eight emitter models were evaluated

¹Estudante de graduação - Iniciação Científica CNPq/PIBIC, FEAGRI/UNICAMP, Av. cândido Rondon 501, 13083-875, Campinas, SP. 27 99833-5361, jonesmaroliveira18@hotmail.com.

² Estudante de doutorado, FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP.

³ Professor Doutor, FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP

⁴ Estudante de pós-doutorado, FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP

⁵ Estudante de doutorado, FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP

⁶ Doutor, Técnico Laboratório de Irrigação, FEAGRI/UNICAMP, Campinas, SP

simultaneamente, e três replicatas dos experimentos foram realizadas em laboratório. Em ordem para garantir condições de reprodutibilidade, água deionizada foi utilizada, e partículas de tamanho e concentração controlados foram adicionadas à água. Rotinas diárias de cloração e controle de pH da água foram realizadas. O protocolo de teste para o estudo da sensibilidade dos emissores ao entupimento devido a partículas sólidas é baseado no padrão ISO/DTR 21540 (em desenvolvimento). Os modelos C, D, E, G e H são resistentes ao entupimento causado por partículas sólidas em suspensão na água de irrigação, pois não houve entupimento em nenhuma das etapas de teste. No entanto, mais atenção é necessária com a filtragem e rotinas de manutenção do sistema de irrigação quando os modelos A, B e F são utilizados, devido à menor resistência ao entupimento observada nos testes. A reprodutibilidade satisfatória dos resultados foi obtida para garantir que um determinado modelo de emissor é sensível à água contendo partículas de tamanho e concentração acima de um determinado limiar.

KEYWORDS: drip irrigation; microirrigation; emitters' plugging

INTRODUÇÃO

Problemas de obstrução têm como origem a ação individual ou combinada de agentes de natureza física, química e biológica. Problemas causados por partículas sólidas são considerados o modo mais comum de obstrução em emissores (ADIN; ALON, 1986; NAKAYAMA; BUCKS, 1991; TAYLOR *et al.*, 1995). Pesquisadores relatam que mesmo após um rigoroso processo de filtragem, algumas vezes são encontradas quantidades significativas de sedimentos nas linhas laterais devido a ocorrência de fenômenos como a aglomeração e agregação de partículas finas (BOUNOUA, 2010; NIU; LIU; CHEN, 2012; OLIVEIRA, 2017), bem como devido a precipitação de íons no interior da tubulação e dos emissores (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

Essa pesquisa baseou-se na hipótese de que a geometria do labirinto de gotejadores é um fator determinante na sensibilidade à obstrução provocada por partículas sólidas. Desse modo, supôs-se que a dinâmica da vazão de gotejadores submetidos a ensaios de obstrução varia conforme o modelo e geometria do gotejador. Modelos mais sensíveis à obstrução são obstruídos nas etapas iniciais do protocolo de ensaio, enquanto modelos mais resistentes podem não apresentar alteração de vazão ao longo de todo o experimento.

Este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar as flutuações de vazão de modelos comerciais de gotejadores operados sob condição de risco de obstrução por partículas sólidas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Hidráulica e Irrigação (LHI) da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP).

Bancada de ensaios

A bancada de ensaios montada baseia-se em modelo descrito e utilizado por Lavanholi (2017) (Figura 1), apresentando 6,0 m de comprimento e 1,5 m de largura.

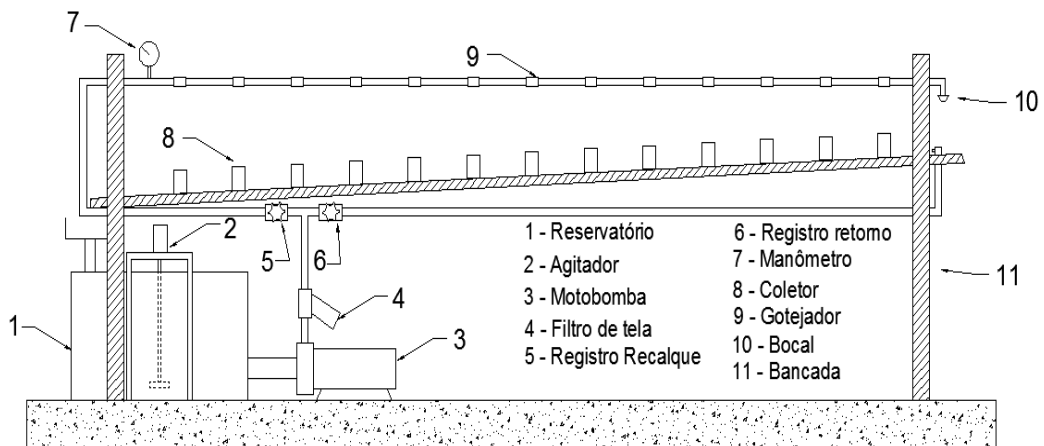


Figura 1. Bancada de ensaios de obstrução (LAVANHOLI, 2017)

O reservatório foi equipado com um agitador composto por hélice, motor elétrico e inversor de frequência para garantir que as partículas permaneçam em suspensão. O reservatório de material plástico com formato de tronco de cone e a velocidade apropriada de rotação do agitador são importantes para evitar a sedimentação de partículas no fundo do reservatório. O ajuste da velocidade de rotação da hélice foi adequado experimentalmente a fim de obter uma velocidade de rotação máxima que não permitiu o acúmulo de partículas no fundo do reservatório, nem formação de vórtices suficientemente intensos a ponto de provocar a sucção de ar pela bomba.

A distribuição de vazão entre 8 linhas de tubogotejadores é feita através de uma linha de derivação com bifurcações simétricas, sendo que esse detalhe é essencial para que não haja tendências na distribuição de partículas entre as linhas laterais e para que todos os gotejadores estejam sujeitos ao mesmo risco de obstrução. Pesquisas anteriores efetuaram verificações para comprovar que não havia diferença significativa na concentração de partículas transportadas entre as linhas laterais, sendo assim a proposta foi validada (PERBONI, 2016; LAVANHOLI, 2017). As 8 linhas laterais apresentam o mesmo comprimento (6 m) e foram instaladas em paralelo. Esse comprimento das linhas é suficientemente curto, permitindo

assumir que a perda de carga devido ao escoamento não exerça influência significativa nos ensaios.

A estrutura foi equipada com calhas em declive, responsáveis por conduzir de volta ao reservatório a água escoada pelos gotejadores e pelos finais de linha. No final dessa calha foi instalado uma peneira de 35 mesh (500 μm) capaz de reter partículas de diâmetro superior a 500 μm , sendo essencial para reter contaminantes que atingem a bancada de ensaios acidentalmente.

Material avaliado

A Tabela 1 apresenta as principais características dos modelos de tubogotejadores avaliados durante os experimentos. Os modelos de gotejador A, B, C, D, E, F são do tipo plano (pastilha), enquanto que os modelos G e H são do tipo cilíndrico (bóbi).

Tabela 1. Modelos dos gotejadores avaliados com suas respectivas características.

Modelo	Tipo	Diâmetro nominal (mm)	Vazão nominal (L/h)	Espaçamento entre emissores (m)	
A	AmnonDrip	PC	17	1,1	0,50
B	TalDrip	NPC	17	0,55	0,30
C	TopDrip	PC/AS	16	1,6	0,50
D	TurboExcel	NPC	17	1,6	0,30
E	TopDrip	PC/AS	16	1,0	0,29
F	AmnonDrip	PC/AS	17	1,6	0,55
G	NaanTif	NPC	16	1,0	0,50
H	NaanPC	PC	16	1,8	0,50

*PC = Auto-compensante; NPC = não auto-compensante AS = Anti-sifão

Protocolo de ensaios de obstrução

O protocolo de ensaios baseia-se em requisitos propostos pela norma em desenvolvimento ISO/DTR 21540. A rotina foi dividida em quatro etapas, cada uma com duração de 40 horas de funcionamento, operando durante 8 horas diárias. Em cada etapa, com 5 dias de duração, as concentrações e as faixas granulométricas das partículas sólidas presentes no reservatório foram controladas, conforme especificado na Tabela 2.

Tabela 2. Etapas de ensaio com respectivas concentração e granulometria de partículas

Etapa	Tempo (h)	Faixa granulométrica das partículas (μm)				Concentração total (mg L ⁻¹)
		< 75	75 - 125	125 - 212	212-500	
Concentração de partículas (mg L ⁻¹)						
1	0 – 40	125	-	-	-	125
2	40 – 80	125	125	-	-	250
3	80 – 120	125	125	125	-	375
4	120 – 160	125	125	125	125	500

As partículas sólidas utilizadas para avaliação da sensibilidade à obstrução dos gotejadores foram constituídas por uma mistura de areia, silte e argila, obtidas a partir de amostra de solo natural.

Rotina de ensaios

No início de cada ensaio foi efetuada a limpeza da bancada de ensaios para remoção de resíduos de ensaios anteriores. Foram instalados tubo-gotejadores novos a cada repetição, e monitorada a vazão de 10 emissores por modelo avaliado. Inicialmente, os tubo-gotejadores foram submetidos a ensaios para determinações de vazões e de coeficiente de variação de fabricação (CVF) utilizando-se água limpa.

Após a adição do composto de partículas sólidas no reservatório, a vazão dos gotejadores foi monitorada ao final de cada dia de ensaio (após 8 horas de funcionamento), através da medição da massa de água coletada. A vazão de cada emissor foi obtida pela Equação 1, utilizando massa específica da água corrigida pela Equação 2 (TANAKA *et al.*, 2001):

$$q = \frac{(m_F - m_I)}{\rho t} 3600 \quad (1)$$

$$\rho = 999,974950 \left[1 - \frac{(T - 3,983035)^2 (T + 301,797)}{522528,9 (T + 69,34881)} \right] \quad (2)$$

Em que: q : vazão ($L h^{-1}$); t : tempo de coleta (s); m_F : massa do coletor + água (g); m_I : massa do coletor (g); ρ : massa específica da água ($kg m^{-3}$); T : temperatura da água ($^{\circ}C$).

Análise da sensibilidade dos emissores à obstrução

A sensibilidade dos emissores à obstrução foi avaliada por meio da proporção de variação da vazão dos emissores durante o tempo de ensaio. A vazão relativa (q_r) de cada emissor foi calculada pela Equação 3, considerando a vazão inicial do emissor (q_0) e a vazão em um dia qualquer de ensaio (q_i). Como critério, um emissor foi considerado obstruído quando a vazão relativa em dado dia de ensaio foi inferior a 75% ou superior a 125%.

$$q_r = 100 \frac{q_i}{q_0} \quad (3)$$

Em que: q_r é a vazão relativa de um emissor (%); q_0 é a vazão inicial do emissor ($L h^{-1}$), determinada utilizando água limpa; q_i é a vazão do emissor ($L h^{-1}$) em um dia qualquer de ensaio.

Além da análise individual de emissores, dois critérios foram empregados para definir se um modelo (lote) de emissor foi sensível ou não à obstrução. O primeiro critério consiste numa contagem de emissores obstruídos por lote, sendo que um modelo de emissor foi considerado sensível à obstrução em dada etapa de ensaio quando mais do que 3 emissores (30% da amostra) foram classificados como obstruídos, não havendo recuperação da vazão

nos dias seguintes. O segundo critério consiste numa razão percentual entre a vazão atual e a vazão inicial (vazão relativa), sendo que um modelo de emissor foi considerado sensível à obstrução em dada etapa de ensaio quando o valor médio das vazões relativas que constituem a amostra for superior a 125% ou inferior a 75%. Dessa forma, foi possível verificar o desempenho dos emissores à obstrução em cada fase de ensaio, identificando qual a combinação de granulometria e concentração de partículas crítica para o desempenho dos modelos de gotejadores ensaiados. Foram realizadas três repetições do ensaio para cada modelo de emissor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 pode ser observado o número de gotejadores obstruídos ao longo das 4 fases de ensaio, em cada uma das três repetições executadas.

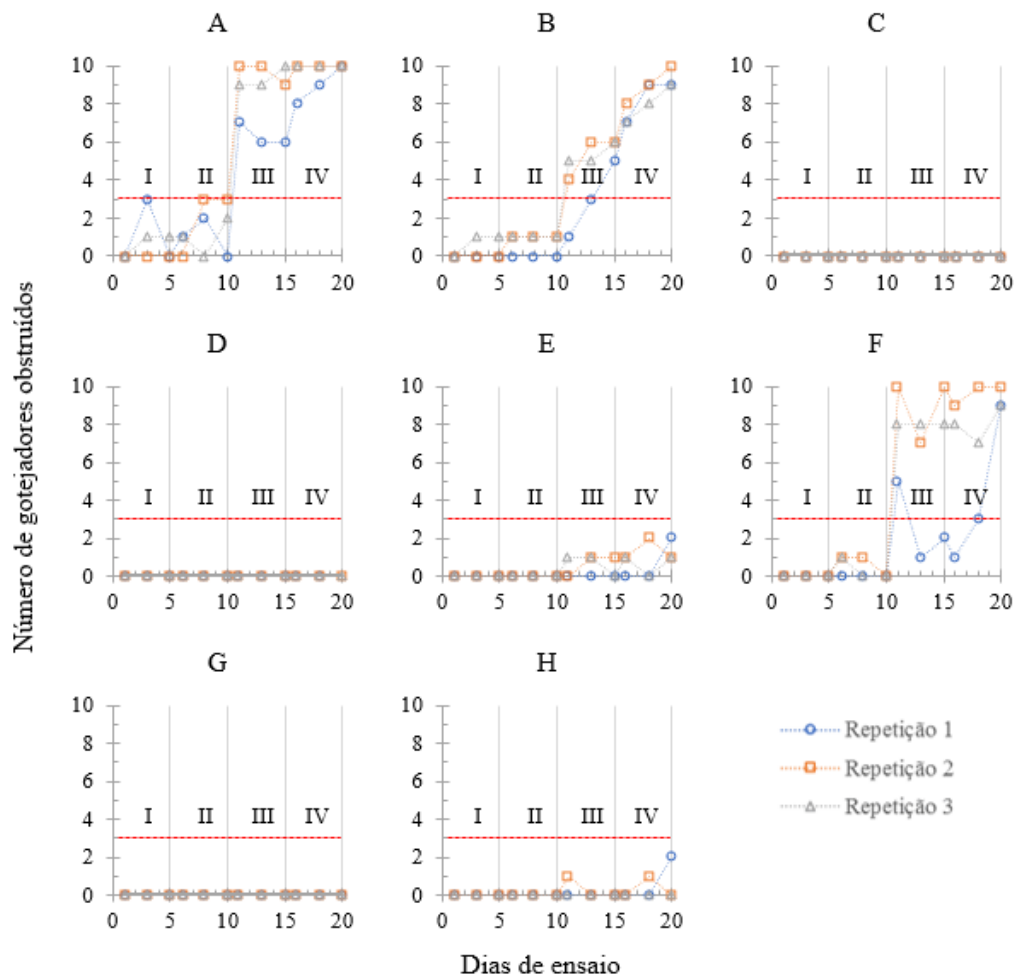


Figura 2. Número de gotejadores obstruídos ao longo dos dias e etapas de ensaio, para cada modelo avaliado.

Identificou-se que os modelos A e B obstruíram a partir da terceira etapa de ensaios, mostrando-se sensíveis à granulometrias superiores a 125 μm em concentrações acima de 250 mg L^{-1} . Resultados das repetições para o modelo F indicam sensibilidade à obstrução entre as etapas III e IV do ensaio, sendo que tal imprecisão está fortemente associada ao fato de que este é um modelo de emissor autocompensante no qual se espera maior instabilidade de resultados sob operação com risco de obstrução (PINTO et al., 2017). Dentre os emissores mais sensíveis à obstrução, os modelos A e B são modelos de emissores planos e de baixa vazão, que conseqüentemente apresentam seção de escoamento menor que a maioria dos outros modelos avaliados. É esperado que a sensibilidade à obstrução aumente na medida em que a seção de escoamento se torna menor (LAVANHOLI et al., 2018). Tais resultados evidenciam que há necessidade do emprego de sistema de filtragem mais rigoroso para os modelos A, B e F do que para o restante dos modelos avaliados.

Os modelos de gotejadores C, D, E, G e H não atingiram o limiar que caracteriza a obstrução do lote em nenhuma das etapas de ensaio, havendo portanto, tendência de que tais emissores apresentem elevada resistência à obstrução por partículas sólidas suspensas na água de irrigação. Embora a obstrução não tenha sido observada em nenhuma das etapas de ensaio, o emprego de sistema de filtragem com malha de abertura menor ou igual a 120 mesh é recomendado para assegurar a vida útil do sistema.

A Figura 3 expressa os resultados adotando o critério de valor médio da vazão relativa dos emissores. Adotando este segundo critério, o modelo B obstruiu sempre na etapa III; o modelo A obstruiu entre as etapas III e IV; o modelo F obstruiu na etapa IV em duas repetições; e, os outros modelos não obstruíram em nenhuma das etapas. Para os modelos de gotejadores auto-compensantes, a Figura 3 evidencia flutuações na vazão tanto para mais quanto para menos, comprovando que problemas de obstrução podem prejudicar o funcionamento da membrana reguladora de pressão e provocar tanto reduções quanto elevações na vazão do emissor.

Acerca dos dois critérios adotados para avaliar a sensibilidade de gotejadores à obstrução, a presença de vazões igual a zero no conjunto de dados prejudica indicadores baseados em média e desvio-padrão, e por esse motivo, entende-se que o primeiro critério, baseado na contagem de emissores obstruídos, seja o mais apropriado para expressão de resultados de obstrução de emissores.

Nas etapas I e II do ensaio, entre ciclos de desligamento e partida da motobomba foi observada a desobstrução de alguns dos gotejadores, especialmente os auto-compensantes. A elasticidade da membrana reguladora de pressão existente em emissores autocompensantes,

combinada aos ciclos de pressurização e depressurização da tubulação podem deslocar partículas presas no labirinto e permitir que os emissores voltem a operar normalmente, sendo este um fenômeno aleatório.

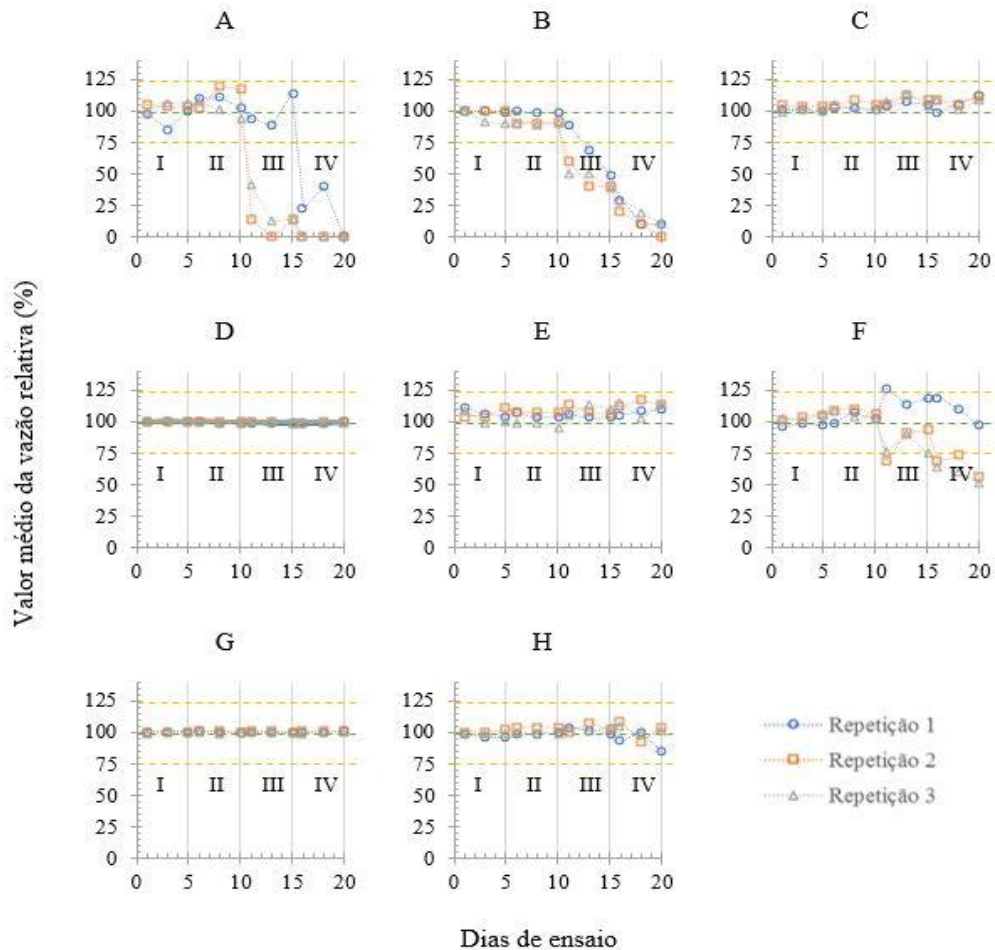


Figura 3. Valor médio da vazão relativa ao longo dos dias e etapas de ensaio, para cada modelo avaliado.

O emissor G com vazão nominal de $1,0 \text{ L h}^{-1}$, apesar da baixa vazão, demonstrou excelente desempenho, não sendo identificada obstrução de nenhum emissor que compõe a amostra avaliada em nenhuma das etapas de ensaio. Tal resultado aponta para indícios de que a geometria desse modelo apresentou características que favorecem o transporte e remoção de sedimentos do interior do labirinto, conferindo ao emissor maior resistência à obstrução. Esse é um emissor do tipo cilíndrico, sendo que há evidências de que emissores deste tipo apresentam menor sensibilidade à obstrução. Emissores do tipo cilíndrico são maiores do que emissores planos e permitem que o projeto de labirintos com maior seção de escoamento, fato que contribui para a capacidade de transporte de sedimentos do labirinto.

Esse trabalho permitiu quantificar flutuações na vazão de gotejadores submetidos a ensaios de obstrução por partículas sólidas, assim como identificar tendências na

susceptibilidade dos gotejadores à obstrução. Por fim, comparando-se resultados entre as repetições, observa-se repetitividade suficiente para afirmar que determinado modelo de gotejador sempre é classificado como obstruído em dada etapa de ensaio.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, há tendência de que os modelos de emissores C, D, E, G e H apresentem elevada resistência à obstrução provocada por partículas sólidas suspensas na água de irrigação. Todavia, recomenda-se maior cautela com filtragem e rotinas de manutenção do sistema de irrigação ao se utilizar os modelos A, B e F, dada a menor resistência à obstrução observada durante os experimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIN, B. A.; ALON, G. Mechanisms and process parameters of filter screens. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 112, n. 4, p. 293–304, 1986.

BOUNOUA, S. **Etude du colmatage DES SYSTEMES D ' IRRIGATION LOCALISEE**. 2010. UNIVERSITE DE PROVENCE AIX-MARSEILLE I, 2010.

LAVANHOLI, R. **Avaliação de procedimento de ensaio para determinação da sensibilidade de gotejadores à obstrução por partículas sólidas**. 2017. Dissertação de mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), 2017.

LAVANHOLI, R. et al. Methodology to Evaluate Dripper Sensitivity to Clogging due to Solid Particles: An Assessment. **The Scientific World Journal**, v. 2018, p. 1–9, 23 out. 2018. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/tswj/2018/7697458/>>.

PERBONI, A. **Sensibilidade de gotejadores à obstrução por partículas de areia**. 2016. Tese de doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), 2016.

PINTO, M. F. et al. Flow rate dynamics of pressure-compensating drippers under clogging effect. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, 2017.

TANAKA, M. et al. Recommended table for the density of water between 0°C and 40°C based on recent experimental reports. **Metrologia**, v. 38, n. 4, p. 301–309, 2001.

TAYLOR, H. et al. Drip irrigation with waste stabilisation pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. **Water Science and Technology**, v. 31, n. 12, p. 417–424, 1995.

ZHANG, J. et al. Anti-clogging performance evaluation and parameterized design of emitters with labyrinth channels. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, n. 1, p. 59–65, out. 2010.