



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.9, n.º.1, p.14 - 23, 2015
ISSN 1982-7679 (On-line)
Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>
DOI: 10.7127/rbai.v9n100272
Protocolo 272.14 – 05/11/2014 Aprovado em 24/12/2014

SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO DE DIFERENTES TUBOS GOTEJADORES CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A APLICAÇÃO DE SULFATO FERROSO VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Lilian Cristina Castro de Carvalho¹, Rubens Duarte Coelho², Marconi Batista Teixeira³,
Frederico Antonio Loureiro Soares⁴, Fernando Nobre Cunha⁵, Nelmício Furtado da Silva⁶

RESUMO

Objetivou-se com este experimento avaliar a susceptibilidade de diferentes tubos gotejadores convencionais ao entupimento por ferro solúvel na água de irrigação (sulfato de ferroso) via duas qualidades de água (com e sem carga orgânica), sólidos suspensos (solo) e solução concentrada, com os emissores dos tubos gotejadores posicionados para baixo. O experimento foi realizado durante o período de 12 meses, com 7 modelos de tubos gotejadores. Os testes foram realizados em uma bancada de ensaios em estrutura metálica localizada no Laboratório de Irrigação, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP. A aplicação de partículas de solo e elevado teor de ferro, sem passar por filtragem intensificaram o processo de entupimento. Os modelos B, F e G apresentaram entupimento total a partir das 1296, 792 e 1152 horas de funcionamento.

Palavras-chave: qualidade da água, vazão, carga orgânica, sólidos suspensos

SUSCEPTIBILITY TO CLOGGING OF DIFFERENT CONVENTIONAL DRIP IRRIGATION SYSTEM SUBMITTED THE APPLICATION OF FERROUS SULFATE THROUGH IRRIGATION WATER

ABSTRACT

The objective of this experiment was to evaluate the susceptibility of different conventional drip irrigation system to clogging by iron soluble in irrigation water (ferrous sulfate) via two

¹ Professora do Instituto Federal do Ceará, IFCE. Av. Dr. Guarani, 317, Derby Clube, 62042-030, Sobral, CE. email: liliancarv@ifce.edu.br.

² Eng. Agrônomo, Prof. Livre Docente, DER - Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, C.P.: 9, CEP: 13418-900, fone (0xx19) 3447-8551, email: rdcoelho@esalq.usp.br

³ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Instituto Federal Goiano – IFGoiano – Rio Verde, GO, email: marconibt@gmail.com

⁴ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Instituto Federal Goiano – IFGoiano – Rio Verde, GO, email: fredalsoares@gmail.com

⁵ Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, IFGoiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, email: fernandonobrecunha@hotmail.com

⁶ Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, IFGoiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, email: nelmiciofurtado@gmail.com

water qualities (with and without organic load), suspended solids (soil) and concentrated solution, with the imitter of the dripline positioned down. The experiment was conducted during the period of 12 months, with 7 models dripline. The tests were performed on a test bench in metal structure located in the Irrigation Laboratory of the College of Agriculture "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. The application of soil particles and high iron content without going through filtering intensified clogging process. The models B, F and G showed complete clogging from the 1296, 792 and 1152 hours of operation.

Keywords: water quality, flow, organic matter, suspended solids.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água é um fator essencial, pois problemas com entupimento diminuem a eficiência do sistema. Desta forma análises das fontes de água são extremamente necessárias, exigindo-se água de boa qualidade, livre de sólidos suspensos e dissolvidos, como o ferro, que pode precipitar e causar problemas no sistema, sendo bastante aconselhável sua análise antes da instalação do sistema de gotejamento (BRAUER, 2010).

Os agentes causadores de entupimento nas tubulações e emissores dos sistemas de irrigação podem ser de natureza física química ou biológica. Os agentes físicos causadores de entupimento são partículas inorgânicas em suspensão (areia, silte e argila) e partículas orgânicas (fragmentos vegetais e animais, bactérias, algas, larvas, etc.).

O entupimento pode ser parcial, reduzindo a uniformidade de aplicação, ou total, interrompendo por completo o funcionamento do sistema, causando sérios problemas às culturas, devido à deficiência hídrica (CARARO et al., 2006).

Nos solos o ferro pode ser encontrado na forma de hematita (Fe_2O_3), sesquióxido de ferro ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ou siderita (FeCO_3). Segundo Vanzela (2004), o processo de erosão dos solos formados a base de sesquióxidos de ferro faz com que haja um aumento na concentração de ferro tanto solúvel quanto em suspensão nas águas.

As obstruções por microrganismos (fitoplâncton – algas e zooplâncton – bactérias) que se desenvolvem alimentando-se de resíduos orgânicos ou inorgânicos presentes nas águas são causadas pelos filamentos dos microrganismos que crescem formando uma matriz gelatinosa e pegajosa que se adere nas partes internas da tubulação e dos emissores. Já as obstruções oriundas de material em suspensão são as de mais fácil solução, haja vista que um eficiente sistema de filtragem, pode reduzir significativamente o problema (SOUZA, 2006)

Segundo Coelho et al. (2014) a utilização de água com elevado teor de ferro em sistemas de irrigação por gotejamento têm proporcionado sérios problemas de obstrução dos emissores. Assim, torna-se imprescindível o desenvolvimento de pesquisas que possam trazer soluções práticas para serem implantadas em campo.

Objetivo com este experimento foi avaliar a susceptibilidade de diferentes tubos gotejadores convencionais ao entupimento por ferro solúvel na água de irrigação (sulfato ferroso) via duas qualidades de água (com e sem carga orgânica), sólidos suspensos (solo) e solução concentrada, com os emissores dos tubos gotejadores posicionados para baixo.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi conduzida no Laboratório de Irrigação de Irrigação da Escola

SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO DE DIFERENTES TUBOS GOTEJADORES CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A APLICAÇÃO DE SULFATO FERROSO VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, localizada no município de Piracicaba - SP, cujo clima é classificado como Cwa - subtropical úmido, segundo classificação climática de Köppen, temperatura média máxima superior a 22° C e média mínima de 18° C, ocorrendo chuvas de verão e secas de inverno.

O experimento foi desenvolvido em uma bancada de ensaios, construída em estrutura metálica composta por três andares, com 11 m de comprimento, 4 m de largura e 5,8 m de altura, sendo cada andar da bancada independente dos demais.

Os andares foram divididos em duas partes, sendo cada uma composta por diferentes níveis para a inserção das linhas gotejadoras que foram unidas no início e no final da bancada por registros e conexões de PVC. Para a condução da água e montagem das linhas de gotejadores do ensaio utilizou-se um registro de 2” na linha principal e um registro de ¾” na entrada de cada nível. Na entrada de cada módulo da bancada, foi instalada uma tomada de pressão, permitindo o ajuste da pressão a cada medição de vazão, e se necessário, ajustada àquela preestabelecida. Para a medição e monitoramento da pressão de serviço, foi utilizado um manômetro com faixa de leitura de 0 – 700 kPa, calibrado previamente por um manômetro de peso morto.

O sistema de pressurização utilizado no experimento foi composto por um conjunto de motobomba centrífuga da marca KSB, modelo KSB Hydrobloc C 750, cuja operação de funcionamento foi realizada manualmente, obedecendo rigorosamente os horários de início e fim de cada aplicação. Para evitar a entrada de partículas em suspensão no sistema, foi utilizado um filtro de disco de 120 mesh/Amiad, com capacidade para 15 m³ h⁻¹ de vazão, cuja lim-

peza foi feita a cada 12 horas de funcionamento.

No preparo e armazenamento das soluções utilizaram-se caixas de amianto, com capacidade para 1000 L, que foram conectadas ao conjunto motobomba por meio de uma sucção de 0,06 m de diâmetro, através de um adaptador de caixa d'água e o bombeamento de cada solução foi controlado por um registro de esfera de 0,06 m, instalado na extremidade da sucção dentro da caixa, permitindo o bombeamento da solução.

O sistema de aplicação da solução foi adaptado de tal forma que permitia um processo de recirculação da mesma, onde a solução gotejada era recolhida por dois conjuntos de telhas de aço zincado (fornadas com filme plástico), com uma inclinação de 3%, aonde conduzia a solução para uma calha de zinco revestida com fibra de vidro, localizada no centro do módulo, que retornava a solução para a caixa da respectiva captação, através de um conjunto de tubos PVC de 100 mm.

Ao final da aplicação, os registros eram fechados com o sistema ainda em funcionamento, para evitar o retorno da solução ao reservatório, garantindo assim que a solução permanecesse em contato com toda a superfície interna da linha gotejadora. Para evitar uma perda acentuada da solução ao longo da semana, foram colocadas cortinas de plásticos nas laterais da bancada de ensaio. Após cada ensaio de vazão, o sistema permanecia desligado por um dia, com o objetivo de se fazer limpeza, preparo da nova solução, reparos e manutenção do sistema.

O tratamento realizado na Fase 1 do experimento pode ser resumido da seguinte forma: linhas gotejadoras do setor 1 - 6 mgL⁻¹ de Fe⁺² (sulfato ferroso) + água LAB (Tabela 1).

Tabela 1. Análise da água do Laboratório de Irrigação da ESALQ/USP, que foi utilizada na preparação da solução aplicada na Fase 1.

Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade (2CO ₃ ²⁻ +HC ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	35,8
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	33,9
Nitrato (N-NO ₃)	mg L ⁻¹	20,5
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	149,3
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,05
Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃)	mg L ⁻¹	0,11
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	44,0
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	7,1
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	33,2
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	9,2
Ferro (Fe ²⁺)	mg L ⁻¹	0
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	0,01
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	0,09
Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	1,14
Boro (B)	mg L ⁻¹	0
Alumínio (Al)	mg L ⁻¹	0
Cor aparente	PtCo	4
Turbidez	FTU	4
Sedimentos em suspensão	mg L ⁻¹	6,0
Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,37
pH	----	7,5
Gás carbônico (CO ₂)	mg L ⁻¹	1,9
Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	6,5
Dureza total (CaCO ₃)*	mg L ⁻¹	120,6

*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO₃).

Na Fase 2, os tratamentos permaneciam 24 horas em aplicação contínua e 72 horas em repouso e avaliou-se a susceptibilidade dos tubos gotejadores ao entupimento quando submetidos à aplicação de carga orgânica (fitoplâncton / algas), mais sólidos em

suspensão, na concentração de 409 mg L⁻¹ (Tabela 2) e 18,8 mg L⁻¹ de ferro solúvel (Fe⁺²), onde se utilizou como fonte de ferro uma associação de sulfato ferroso (6 mg L⁻¹), de óxido de ferro (6 mg L⁻¹) e de hidróxido de ferro (6,8 mg L⁻¹); associados apenas a água do lago e teve duração de 1068 horas de aplicação. Nesta fase (FASE 2), as linhas gotejadoras dos setores 1 tiveram seus orifícios posicionados para baixo.

Tabela 2. Características físicas do solo da área experimental

Granulometria (%)			Classe Textural	Densidade (g cm ⁻³)	
argila	silte	areia	argilosa	global	partículas
48,16	17,72	34,12			1,45

Ainda na Fase 2, foi aplicado uma solução concentrada com uma relação de 1:30 (30 vezes a solução do reservatório), diretamente nos tubos gotejadores, sem passar por filtragem, este procedimento fora adotado, com o objetivo de simular a quantidade de material sedimentado numa linha de tubos gotejadores instalada em campo, que em grande parte chega a medir até 300 metros, então como o comprimento da linha na bancada de ensaios era de 10 metros adotou-se a relação de 1:30. Esta solução concentrada era composta pelos mesmos elementos da solução utilizada na irrigação, sendo aplicada por aproximadamente 5 minutos, após o período de irrigação de 24 horas, e ficando em repouso dentro dos tubos gotejadores por 72 horas, até o reinício do processo de irrigação, simulando, assim, condições extremas de qualidade de água.

Os tratamentos realizados na Fase 2 pode ser resumido da seguinte forma: linhas gotejadoras do setor 1 - 18,8 mg L⁻¹ de Fe⁺² (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro) + sólidos suspensos (solo - 409 mg L⁻¹) + carga orgânica (Tabela 3) + solução

SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO DE DIFERENTES TUBOS GOTEJADORES CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A APLICAÇÃO DE SULFATO FERROSO VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

concentrada (30 vezes a solução do reservatório), por um período de 5 minutos, com os emissores posicionados para baixo.

Tabela 3. Análise da água do lago utilizada na preparação da solução aplicada na Fase 2

Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade (2CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	88,4
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	19,0
Nitrato (N-NO ₃)	mg L ⁻¹	0,6
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	12,1
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,14
Nitrogênio Amoniacal (N - NH ₃)	mg L ⁻¹	1,1
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	24,0
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	6,3
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	17,5
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	3,7
Ferro (Fe)	mg L ⁻¹	0,75
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	0
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	0,04
Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	0,17
Cor Aparente	mg L ⁻¹	230
Turbidez	mg L ⁻¹	48
Sedimentos em suspensão	PtCo	25
Condutividade elétrica (CE)	FTU	0,18
pH	mg L ⁻¹	7,4
Gás Carbônico (CO ₂)	mS cm ⁻¹	5,3
Acidez (CaCO ₃)	---	33
Dureza Total* (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	58,7
Coliformes totais/100mL	mg L ⁻¹	1,3x10 ³
Coliformes termotolerantes/100mL	mg L ⁻¹	9,2x10 ²

*Dureza Total calculado com base no equivalente de Carbonato de cálcio (CaCO₃) segundo Franson (1995): 2,497 [Ca, mg L⁻¹] + 4,118 [Mg, mg L⁻¹]

Durante o ensaio foram mantidos os espaçamentos originais das linhas gotejadoras, com o objetivo de evitar diferenças relacionadas à influência de emendas e da

proximidade dos emissores, reduzindo os erros e mantendo, assim, as mesmas condições das linhas utilizadas pelos irrigantes. Desta forma o número de gotejadores presentes na linha dependeu do espaçamento fornecido pelo fabricante, porém foi assegurado um número mínimo de 10 emissores para cada modelo analisado.

A Tabela 4 apresenta os emissores com suas características técnicas e a vazão mais comercializada pelos irrigantes, ensaiados nas Fases 1 e 2. Em função dos emissores ensaiados serem produtos comerciais e os ensaios a que foram submetidos não serem normatizados, os dados e análises realizados em todos os ensaios foram codificados para evitar qualquer tipo de especulação comercial dos resultados apresentados. A codificação utilizada na representação dos modelos de emissores, não tem nenhuma relação com os nomes comerciais dos produtos e nem tampouco com a sequência de emissores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Características técnicas: fluxo, vazão, diâmetro nominal (Ø N) e espaçamento entre gotejadores dos modelos convencionais utilizados no experimento das Fases 1 e 2.

Fabricante	Modelo	Fluxo	Vazão (L h ⁻¹)	Ø N (m)	Espaçamento entre gotejadores (m)
	Tiran	NC	2,05	16	0,75
	Super Typhoon	NC	2,0	16	0,60
	Hydrogol	NC	3,0	17	0,40
Naandan	Naan Paz	NC	2,0	16	0,75
Azud	Azudline	NC	1,4	17	0,50
Petroísa	Petroísa G1	NC	1,5	16	0,50
Metzerplas	Vered	NC	2,1	17	0,50

*Gotejadores convencionais novos (CN). Fonte: Catálogo dos fabricantes

Depois de tabulados os pesos, procederam-se os cálculos da vazão, vazão relativa e do coeficiente de variação de vazão, através das Equações de 1 a 3.

$$q = \frac{P}{1000 t d} 60 \quad (1)$$

em que:

q – vazão do gotejador, L h⁻¹;

P – peso da água coletada, g;

t – tempo de coleta, min e

d – densidade da água utilizada no ensaio, g L⁻¹

(o valor médio utilizado para conversão da água para 25 °C, foi de 0,997).

$$Q_r = \frac{Q_{x,y}}{Q_i} \quad (2)$$

em que:

Q_r – vazão relativa, %;

Q_{x,y} – vazão de um emissor x num dia y de irrigação, L h⁻¹ e

Q_i – vazão desse emissor no primeiro dia de irrigação, L h⁻¹.

$$CV = \frac{\sigma}{q_m} 100 \quad (3)$$

em que:

CV – coeficiente de variação (%);

σ – desvio padrão da vazão média do emissor (L h⁻¹) e

q_m – vazão média a determinada pressão e temperatura padrão (L h⁻¹).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade, e em casos de significância, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vazão média dos emissores foi utilizada para se quantificar as principais alterações quanto ao funcionamento adequado dos emissores, tipo gotejadores, avaliados, de acordo com os trabalhos pertinentes (GILBERT et al., 1979; NAKAYAMA et al., 1977; RAVINA et al., 1992).

Na Figuras 1 encontra-se a vazão média para os diferentes modelos de gotejadores convencionais nas Fases 1 e 2 do experimento, avaliados no período do ensaio.

Conforme se observa na Figura 1 os emissores avaliados apresentaram comportamentos diferenciados quanto à redução de vazão, em função dos tratamentos impostos, decorrente da arquitetura de cada gotejador, concordando com resultados observados por Costa (2000), Teixeira (2006) e Ribeiro (2008), onde as características construtivas são diferentes em cada modelo de gotejadores fazendo com que a intensidade de entupimento mostre-se de forma heterogenia. Observa-se também, nesta Figura, que não houve grande variação nas vazões dos emissores estudados, durante a primeira Fase do experimento.

Os modelos A, D, E e F, na Fase 1 demonstraram aumentos de vazão de 5,0; 0,5; 2,9 e 4,7%, nas 216, 288, 216 e 288 horas de funcionamento respectivamente, enquanto que para os modelos B, C e G foram observadas apenas reduções de vazão, as quais foram mais expressivas nas 288, 72 e 72 horas de funcionamento, sendo estas da ordem de 4,1; 10 e 6,8%, respectivamente.

Na Fase 2 do experimento (após 360 h) observou-se grandes reduções na vazão dos gotejadores. Os modelos F e G foram os mais afetados durante o período de ensaio, chegando a uma obstrução total de seus emissores na Fase 2, a partir de 792 e 1152 horas de funcionamento, respectivamente. Os modelos B e E também apresentaram redução total nas vazões de seus emissores na Fase 2, a partir da hora 1296.

Costa (2000), trabalhando com gotejadores de diferentes fabricantes, abastecidos com água contendo teor de ferro de 3,0 mg L⁻¹, observou que o modelo Naan, após 375 horas de funcionamento, sofreu uma redução de vazão de 46% e o que o modelo Netafim apresentou uma redução média de vazão de 34% logo após o início dos testes, entre 3 e 32 horas de funcionamento.

SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO DE DIFERENTES TUBOS GOTEJADORES CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A APLICAÇÃO DE SULFATO FERROSO VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

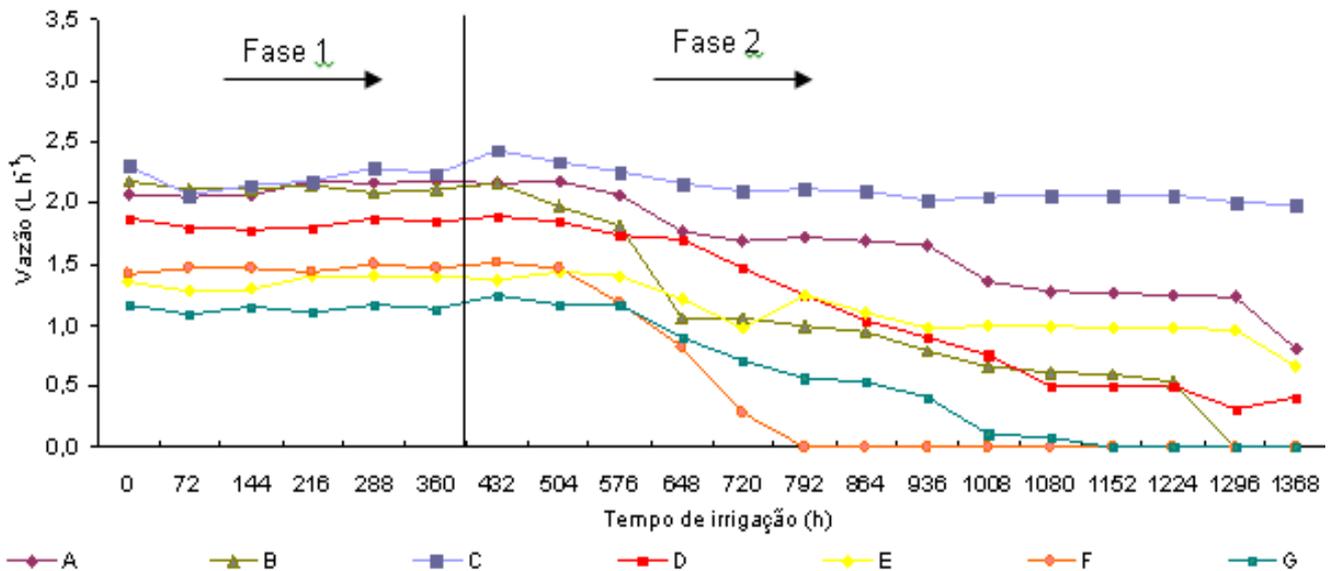


Figura 1. Vazão média dos gotejadores convencionais na Fase 1 - água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e na Fase 2 - água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada.

O posicionamento para baixo dos orifícios dos emissores propiciou uma maior susceptibilidade ao entupimento, provavelmente devido a uma maior deposição dos tratamentos no fundo do tubo gotejador (decantação), facilitando assim a obstrução dos emissores.

Na Tabela 5 encontra-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias de cada emissor ao longo do tempo, para a Fase 1 e 2 respectivamente. Conforme observado na Tabela não houve diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para o modelo C.

De acordo com o Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, com relação à comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, os modelos A e E, diferiram estatisticamente entre as primeiras leituras e as últimas leituras, sendo que as leituras intermediárias não diferiram de nenhuma. Para Vieira et al. (2004) vários fatores podem comprometer a uniformidade de distribuição de água em sis-

temas localizados destacando-se, entre eles, o entupimento ou o desequilíbrio de vazão dos emissores.

O modelo, F apresenta comportamento semelhante, pois diferiram estatisticamente de forma abrupta em três pontos: começo, meio e fim das leituras, sendo iguais de 0 a 504 h, de 576 a 648 h e de 720 a 1368 h para o primeiro caso e de 0 a 1152 h, na leitura de 1224 h e de 1296 a 1368 h para o segundo caso.

O modelo G diferiu em 5 médias, apresenta grande amplitude com vazão igual a zero nas leituras finais e tem desempenho distinto em 4 ocasiões: de 0 a 648 h com alta vazão, de 720 a 936 h com vazão média, de 1008 a 1080 h com baixa vazão e de 1152 a 1368 h com obstrução total dos gotejadores.

Os modelos B e D apresentam grande amplitude entre as médias, sendo que o modelo B a partir das 1296 h tem vazão zero, diferem muito entre as leituras e tem um desempenho decrescente ao longo do tempo.

Tabela 5. Vazão média (L h⁻¹), dos modelos A, B, C, D, E, F e G convencionais na Fase 1 e 2.

		Modelos						
Aplicação	(h)	A	B	C	D	E	F	G
FASE 1	0	2,07b	2,17f	2,30a	1,87de	1,36b	1,42c	1,17de
	72	2,05b	2,12ef	2,07a	1,80de	1,27ab	1,46c	1,09de
	144	2,06b	2,12ef	2,15a	1,78de	1,29ab	1,46c	1,14de
	216	2,18b	2,15ef	2,17a	1,80de	1,40b	1,43c	1,11de
	288	2,16b	2,08def	2,29a	1,88e	1,40b	1,49c	1,16de
	360	2,17b	2,11def	2,24a	1,84de	1,40b	1,46c	1,13de
	432	2,16b	2,16ef	2,43a	1,89e	1,37b	1,51c	1,24e
FASE 2	504	2,18b	1,97cdef	2,33a	1,84de	1,43b	1,46c	1,17de
	576	2,07b	1,81bcdef	2,26a	1,74de	1,40b	1,18bc	1,17de
	648	1,76ab	1,05abcde	2,16a	1,71cde	1,21ab	0,82b	0,91cde
	720	1,69ab	1,05abcde	2,09a	1,47bcde	0,97ab	0,28a	0,70cd
	792	1,72ab	1,00abcd	2,12a	1,25abcde	1,24ab	0,00a	0,56bc
	864	1,69ab	0,95abc	2,10a	1,04abcde	1,10ab	0,00a	0,53bc
	936	1,66ab	0,79ab	2,02a	0,90abcd	0,98ab	0,00a	0,40abc
	1008	1,36ab	0,66a	2,05a	0,75abc	1,00ab	0,00a	0,11ab
	1080	1,27ab	0,61a	2,06a	0,51ab	0,99ab	0,00a	0,08ab
	1152	1,26ab	0,60a	2,06a	0,51ab	0,98ab	0,00a	0,00a
1224	1,25ab	0,53a	2,07a	0,50ab	0,97ab	0,00a	0,00a	
1296	1,23ab	0,00a	2,01a	0,31a	0,96ab	0,00a	0,00a	
1368	0,80a	0,00a	1,99a	0,41a	0,67a	0,00a	0,00a	

*Média com a mesma letra minúscula na coluna ao longo do tempo não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. ¹ Fase 1 - água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e Fase 2 - água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada.

A Tabela 6 são apresentados os valores da vazão relativa obtidos pela coleta individual de vazão dos emissores ao longo da linha. Na Tabela 6 pode-se observar que em alguns modelos de emissores, pequenas oscilações na vazão relativa, que em conformidade com Tei-

xeira (2006), se deve provavelmente, às obstruções aleatórias que ocorriam pelo efeito de alguma eventual sobrepressão no sistema e/ou de uma influência mais acentuada da variação de temperatura na vazão (alteração da viscosidade da água) durante o período de ensaio.

SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO DE DIFERENTES TUBOS GOTEJADORES CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A APLICAÇÃO DE SULFATO FERROSO VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Tabela 6. Vazão Relativa (QR) dos gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, para os modelos A, B, C, D, E, F e G na Fase 1 e 2.

Aplicação (h)	Modelos							
	A	B	C	D	E	F	G	
	QR (%)							
	100	100	100	100	100	100	100,00	
FASE 1	72	99	98	90	96	94	93,20	
	144	100	98	94	95	95	97,67	
	216	105	99	95	97	103	101	94,54
	288	105	96	100	101	103	105	99,12
	360	105	97	97	99	103	103	96,83
FASE 2	432	104	100	106	101	101	107	106,09
	504	105	91	101	99	105	103	100,18
	576	100	84	98	93	103	83	99,65
	648	85	49	94	92	89	58	77,34
	720	82	48	91	79	72	20	59,95
	792	83	46	92	67	91	0	48,13
	864	82	44	91	56	81	0	45,58
	936	80	37	88	48	73	0	34,40
	1008	66	30	89	40	74	0	9,63
	1080	61	28	90	28	73	0	7,22
	1152	61	28	90	27	72	0	0,00
	1224	61	24	90	27	72	0	0,00
	1296	59	0	88	17	70	0	0,00
	1368	39	0	87	22	50	0	0,00

¹ Fase 1 - água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e Fase 2 - água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada.

Os modelos A, B, D, E, e G na Fase 1 mostraram um comportamento bastante estável, indicando uma redução na vazão relativa de no máximo 1, 4, 5, 6 e 6,8%, ocorridas nas 72, 288, 144, 72 e 72 horas de funcionamento respectivamente.

Os modelos B, F e G na Fase 2 apresentaram vazão relativa igual a zero, nas 1296, 792 e 1152 horas de funcionamento respectivamente. A obstrução total nos modelos B e F ocorreram de forma bastante abrupta, fato este que pode ser verificado na vazão relativa que antecede o entupimento (1224 e 720 h), as quais para estes modelos foram de 24 e 20% respectivamente, mesmo o modelo G indicando apenas uma redução de 7,2% (entre as 1080 e 1052 h) e logo uma redução um pouco menos expressiva, este modelo já dava sinais de uma provável ocorrência de obstrução total, com reduções na vazão relativa equivalentes as observadas nos modelos B e F, as quais foram

encontradas entre as 576 e 648 h, entre 648 e 720 h e entre as 936 e 1008 h de funcionamento, sendo estas reduções de 22,3, 17,4 e 24,8% respectivamente.

Considerando esta redução abrupta na vazão relativa como um indicativo da ocorrência de obstrução total verifica-se que os modelos A e E, também apresentam grande susceptibilidade ao entupimento por demonstrar diferenças na vazão relativa equivalentes aquelas ocorridas nos modelos B, F e G, sendo esta redução de 20% para ambos os modelos A e E, sucedidas entre as 1296 e 1368 horas de funcionamento respectivamente. Cunha et al. (2014) concluíram que a dispersão das partículas sólidas no diâmetro interno tem maior influência na uniformidade conforme diminui o número de pontos avaliados e aumenta a obstrução total, sendo a uniformidade bastante variável quando sob obstrução parcial.

O modelo C foi o que melhor se comportou, ao longo de todo o ensaio, mantendo a vazão relativa de seus emissores praticamente constante, acima de 87% tanto na Fase 1 quanto na Fase 2. O modelo A, entretanto não apresentou bons resultados, na Fase 2 onde teve uma redução de 61% de sua vazão após 1368 horas de funcionamento.

CONCLUSÕES

A aplicação de partículas de solo e elevado teor de ferro, sem passar por filtragem intensificaram o processo de entupimento.

Os modelos B, F e G apresentaram entupimento total a partir das 1296, 792 e 1152 horas de funcionamento.

O posicionamento para baixo dos orifícios dos emissores propiciou uma maior susceptibilidade ao entupimento.

O modelo C foi o que apresentou um melhor desempenho, com vazão relativa de

87%. Este emissor pode contribuir para projetos de irrigação mais econômicos, pois não requer sistema de filtragem sofisticado.

Os modelos de emissores A e D foram os que sofreram maiores percentuais de entupimento parcial quando sob aplicação de ferro solúvel na água de irrigação, com valores de vazão relativa inferiores a 40%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAUER, R. L. **Dinâmica de entupimento de gotejadores em função da aplicação de água rica em ferro**. Botucatu, 2010. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

CARARO, D.C.; BOTREL, T.A.; HILLS, D.J.; LEVERENZ, H.L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.22, n.2, p.251-257, 2006.

COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B.; RIBEIRO, P. H. P.; CARVALHO, L. C. C.; CUNHA, F. C.; SILVA, N. F. Distúrbios de vazão em gotejadores devido o uso de água com presença de ferro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, nº. 3, p. 234 - 246, 2014.

COSTA, C.C. **Entupimento de gotejadores provocado pela presença de ferro na água de irrigação**. 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; RIBEIRO, P. H. P.; MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Repetibilidade de um sistema de irrigação por gotejamento sob entupimento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, nº. 4, p.343 - 353, 2014.

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. 133-148, 1979.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH, O.F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 20, p. 278-280, 1977.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, New York, v. 13, p. 129-139, 1992.

RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; COLETTI, C. Chemical treatment to unclog dripper irrigation systems due to biological problems. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.65, n.1, p.1-9, 2008.

SOUZA, J. A. A.; CORDEIRO, E. A.; COSTA, E. L. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 5-9, 2006.

TEIXEIRA, M.B. **Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes (irrigação localizada)**. 2006. 322 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

VANZELA, L. S. **Qualidade de água para irrigação na microbacia do Córrego Três Barras no Município de Marinópolis**. 2004. 105 p. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2004.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; CORDEIRO, É. A. **Estudo comparativo da avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento utilizando os métodos propostos por Keller e por Denículi**. PNP&D-café, EMBRAPA Café. Viçosa-MG, p.15. 2004.