**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dinâmica do entupimento de tubos gotejadores sob aplicação de ferro solúvel,
sólidos em suspensão e fitoplâncton**

Lilian Cristina Castro de Carvalho

Tese apresentada para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem

**Piracicaba
2009**

Lilian Cristina Castro de Carvalho
Engenheiro Agrônomo

Dinâmica do entupimento de tubos gotejadores sob aplicação de ferro solúvel, sólidos em suspensão e fitoplâncton

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

Tese apresentada para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Carvalho, Lilian Cristina Castro de

Dinâmica do entupimento de tubos gotejadores sob aplicação de ferro solúvel, sólidos em suspensão e fitoplâncton / Lilian Cristina Castro de Carvalho. - - Piracicaba, 2009.
155 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Água de irrigação - Qualidade 2. Ferro 3. Fitoplâncton 4. Gotejadores 5. Irrigação localizada I. Título

CDD 631.7
C331d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A DEUS pelo dom da vida, amor e fé.

Ao meu querido filho Raul, tantas vezes privado da minha presença, mas nunca do meu amor.

Ao meu amado esposo Marco Antônio pelo incentivo, paciência, carinho e apoio incondicional.

Aos meus pais, por contribuírem na formação de meus valores e princípios mais nobres.

À minha bisavó Raimunda (in memoriam), exemplo de vida, amor e fé.

DEDICO

*As águas seguem rolando
Até quando Deus quiser
A seca vem, mas a fê
Tá segura pro outro ano.*

Fernando Rosa

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por se fazer presente nos caminhos por nós incompreendidos, mas que conduzem à luz, ao amor e a felicidade;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP), pela oportunidade e pelo suporte concedido na realização desta Tese;

Ao Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, pela orientação e confiança para a realização desta Tese e pelo apoio e compreensão em momentos difíceis;

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro fundamental à pesquisa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI), pelo apoio financeiro a pesquisa;

Ao meu querido esposo Marco Antônio Rosa de Carvalho por todo o seu amor, incentivo e apoio, principalmente naqueles dias “intermináveis” e cansativos de leitura de vazão;

Ao meu filho Raul Castro de Carvalho que mesmo diante de tantos sacrifícios, necessários a realização desta Tese, sorria-me diariamente;

Ao Professor Dr. Marconi Batista Teixeira pelo exemplo de competência, comprometimento com a pesquisa e pelas sugestões dadas a esta Tese;

Ao Professor Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, pelos ensinamentos ao longo de minha vida acadêmica e sugestões dadas a esta Tese;

A Professora Dra. Ralini Ferreira de Mélo pelo profissionalismo, amizade e sugestões fornecidas para esta Tese;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem: Dr. José Antônio Frizzzone, Dr. Sérgio Nascimento Duarte, Dr. Tarlei Arriel Botrel, Dr. Marcos Vinícius Folegatti, Dr. Décio Eugênio Cruciani e Dr. Iran José Oliveira da Silva, pela amizade, ensinamentos e pelo exemplo de dedicação a ciência, cheia de sabedoria e humildade;

Ao amigo Pabblo Atahualpa de Aguiar Ribeiro, pela convivência e apoio durante a montagem dos tubos gotejadores na bancada de ensaio;

À minhas eternas amigas Gislane Oliveira Pessoa e Kelly Tagianne Santos de Souza, pelo incentivo, carinho, competência e amizade sincera;

A amiga Odaléa Novais Freire, que mesmo tão distante, tornou-se de grande importância para realização desta obra devido ao companheirismo e ao apoio emocional, a mim prestados com tanta dedicação;

Aos amigos Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima e Juliana Prata Lima; Manoel Valnir Júnior e Ayslene Assef pelo apoio, convívio e amizade sincera;

Aos amigos, Adalberto, Allan, Anthony, Antônio Clarette, Cícero, Cláudio, Dalva, Fabiana, Valfísio, João Batista, Osvaldo, Pabblo, Pedro Róbinson, Priscylla, Robson Armindo, Robson Souza, Rochane, Sérgio Tapparo e Sérgio Weine pela amizade, pelo apoio e pelas constantes confraternizações, durante a morada em Piracicaba, SP;

A todos os colegas do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem - ESALQ/USP, pela convivência e pelo companheirismo no decorrer do curso;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Davilmar, Sandra, Beatriz, Hélio, Gilmar, Antônio e Luís, pelo apoio e pela colaboração;

As minhas queridas irmãs Liliane, Bruna, Andréa e Ingrid, pelo incentivo, exemplo de amor e apoio incondicional;

Aos meus sobrinhos Cecília Castro Lira e Márcio Reis Lira de Castro Filho por tornarem meus dias mais felizes;

À Francisca Jaqueline Peixoto Silva, cuja ajuda prestada na criação e educação de meu filho tornou-se indispensável para a realização desta Tese;

Aos meus avós: Maria de Lourdes, Isaías, Francisca e Marçal (in memoriam); as minhas tias: Rosely, Guiomar, Condeusa e Luiza Helena; aos meus tios: Célio, Júlio e Marcelo; as minhas primas: Carolina, Maiara, Lídia, Livia, Dulciana, Priscila e Patrícia; e a todos os amigos e familiares que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta importante etapa de minha vida e dividem comigo esta alegria.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	23
1 INTRODUÇÃO.....	27
2 DESENVOLVIMENTO.....	29
2.1 Revisão Bibliográfica	29
2.1.1 Irrigação localizada	29
2.1.2 Qualidade de água para a irrigação localizada	30
2.1.3 Ferro nas águas e nos solos	32
2.1.4 Obstruções em sistemas de irrigação por gotejamento.....	33
2.1.5 Obstrução de gotejadores devido a sólidos em suspensão	36
2.1.6 O efeito das ferrobactérias na obstrução de gotejadores	37
2.1.7 Obstrução de gotejadores devido a interações de fatores	39
2.1.8 Técnicas para reduzir o entupimento dos emissores	40
2.1.9 Uniformidade de Distribuição de água.....	43
2.1.10 Coeficiente de Variação de Fabricação	45
2.2 Material e Métodos.....	47
2.2.1 Localização do Experimento	47
2.2.2 Descrição da estrutura experimental e funcionamento do sistema.....	47
2.2.3 Descrição do experimento	51
2.2.4 Modelos dos gotejadores amostrados	59
2.2.5 Determinação da vazão, do coeficiente de variação e da uniformidade de distribuição.	61
2.3 Resultados e Discussão.....	64
2.3.1 Avaliação do entupimento dos gotejadores convencionais utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A	64
2.3.1.1 Vazão média dos gotejadores convencionais utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A	64

2.3.1.2 Uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação (CV) de vazão dos gotejadores convencionais utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A.....	71
2.3.1.3 Distribuição do entupimento dos gotejadores convencionais utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A.....	77
2.3.2 Avaliação do entupimento dos gotejadores autocompensantes utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A.....	86
2.3.2.1 Vazão média dos gotejadores autocompensantes utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A.....	86
2.3.2.2 Uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação (CV) de vazão dos gotejadores autocompensantes utilizados nas fases 1 e 2 do experimento A	93
2.3.2.3 Distribuição do entupimento dos emissores autocompensantes utilizados nas fases 1 e 2 do experimento A.....	98
2.3.3 Avaliação do entupimento dos gotejadores utilizados no experimento B	110
2.3.3.1 Tratamento T5 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB do experimento B	110
2.3.3.2 Tratamento T6 - 20 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAG + sólidos suspensos (400 mg L ⁻¹)	117
3 CONCLUSÕES	125
REFERÊNCIAS.....	127
ANEXOS	135

RESUMO

Dinâmica do entupimento de tubos gotejadores sob aplicação de ferro solúvel, sólidos em suspensão e fitoplâncton

Este projeto de pesquisa foi desenvolvido visando quantificar possíveis distúrbios de vazão em emissores gotejadores submetidos à aplicação de ferro solúvel, sólidos em suspensão (partículas de solo) em águas contendo material orgânico (fitoplâncton/algas), com o orifício dos emissores posicionados para baixo e para cima. Foram realizados dois experimentos A e B em um período de 12 meses, utilizando-se 16 modelos de tubos gotejadores novos e 26 modelos de tubos gotejadores em uso, com suas respectivas linhas gotejadoras montadas em uma bancada de ensaios em estrutura metálica localizada no Laboratório de Irrigação, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP. No experimento A realizou-se 4 tratamentos (T1, T2, T3 e T4), divididos em duas fases, onde na fase 1 avaliou-se a susceptibilidade de diferentes tubos gotejadores ao entupimento por ferro solúvel via duas qualidades de água de irrigação (com e sem carga orgânica) e na fase 2, avaliou-se a susceptibilidade de diferentes tubos gotejadores ao entupimento por aplicação de ferro solúvel, carga orgânica (fitoplâncton/algas) e sólidos em suspensão, com os emissores posicionados para cima e para baixo, ainda na fase 2 aplicou-se uma solução concentrada, nos tratamentos T1 e T4, com uma relação de 1:30, 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, de aproximadamente 300 metros. No experimento B, foram realizados dois tratamentos (T5 e T6) onde se avaliou a susceptibilidade de diferentes tubos gotejadores em uso ao entupimento por ferro solúvel, carga orgânica (fitoplâncton/algas) e sólidos suspensos (partículas de solo). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com utilização dos testes “F” para análise de variância e Tuckey, a 5% de significância, para comparação de médias. Os resultados obtidos mostraram que a aplicação de sólidos em suspensão e elevado teor de ferro, sem passar por filtragem (tratamentos T1 e T4/Fase2/experimento A) intensificaram o processo de entupimento e que a adição de partículas de solo aos tratamentos, passando pelo sistema de filtragem (T2 e T3/Fase 2/experimento A), não potencializou mudanças significativas do cenário de suscetibilidade ao entupimento na grande maioria dos diferentes modelos de tubos gotejadores. O posicionamento para baixo dos orifícios dos emissores foi o que demonstrou maior susceptibilidade ao entupimento. Nos ensaios realizados no experimento A os modelos A, C e L foram os que apresentaram um melhor desempenho, mantendo suas vazões praticamente constante mesmo quando submetidos aos tratamentos mais agressivos (tratamentos T1 e T4/Fase2/experimento A). Os tratamentos realizados no experimento A mostraram que os modelos E, F, G e P foram os que sofreram maiores percentuais de obstrução. Os modelos E e F também apresentaram o pior desempenho quando submetidos aos ensaios realizados tratamento T5 (hidróxido de ferro + água LAB) do experimento B.

Palavras-chave: Entupimento de gotejadores; Irrigação localizada; Carga orgânica

ABSTRACT

Clogging dynamics of driplines under the application of soluble iron, suspended solids and fitoplankton

This research project was developed to quantify possible disturbances of flow rate in drip emitters subject to the application of soluble iron, suspended solids (soil particles) in water containing organic material (phytoplankton / algae), with emitter's outlet positioned down and up. Two experiments were carried out A and B during 12 months period, using 16 models of new drip tubes and 26 models of used drip tubes. The tests were conducted on a bench test located at the Irrigation and Drainage Laboratory of the University of Sao Paulo (ESALQ / USP). Experiment A implemented 4 treatments (T1, T2, T3 and T4) in two phases: in phase 1 it was evaluated the susceptibility of different drip tube to clogging by soluble iron under two water qualities (with and without organic load) and in phase 2 it was assessed the susceptibility of different drip tube for clogging by the application of soluble iron, organic load (phytoplankton / algae) and suspended solids with emitter's outlet positioned up and down, still in phase 2 it was applied a concentrated solution in T1 and T4, with a concentration relation 1:30, directly to drip tubes, without passing through the filter, this procedure was adopted to simulate the amount of material sedimented in a lateral line of drip tubes installed in the field, of approximately 300 meters. Experiment B carried out two treatments (T5 and T6) which evaluated the susceptibility of different used drip tube for clogging by soluble iron, organic load (phytoplankton / algae) and suspended solids (soil particles). The experimental design was completely randomized, with the test "F" for variance analysis and Tuckey test at 5% of significance to comparison of means. The results showed that applying suspended solids and high content of iron, without passing through the filtering system (T1 and T4/Fase 2/experiment A) intensified the clogging process and the addition of soil particles to treatments through the filtering system (T2 and T3/Fase 2/experiment A) presented no significant change in the scenario of the most different types of drip tubes tested. The positioning of emitter's outlet down was more susceptible to clogging. The treatments performed in experiment A showed that the models A, C and L presented the better performance, maintaining their nearly constant flow rate even when subjected to more aggressive treatments (T1 and T4/Fase 2/experiment A). The treatments implemented in experiment A showed that the models E, F, G and P were those that suffered more obstruction. Models E and F also showed the worst performance when subjected to the tests T5 treatment (iron hydroxide + water LAB) of the experiment B.

Keywords: Clogging; Drip irrigation; Organic load

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão frontal da bancada de ensaios de gotejadores: (a) bancada com apenas 1 módulo funcionando e (b) bancada com os quatro módulos funcionando	48
Figura 2 – (a) Vista interna, do pavimento térreo, da bancada de ensaios e (b) detalhe de montagem da vista lateral dos módulos 1 e 3 da bancada de ensaios	49
Figura 3 – (a) Linhas gotejadoras inseridas na bancada de ensaio e (b) registros de $\frac{3}{4}$ ” utilizados para o controle da entrada de água nos tubos gotejadores.....	49
Figura 4 – (a) Motobomba centrífuga e (b) filtro de disco, utilizados no sistema de irrigação do experimento	50
Figura 5 – (a) Conjunto de telhas de aço zincado e (b) calha de zinco revestida com fibra de vidro, utilizadas na captação da solução gotejada	50
Figura 6 – (a, b)Tubulação de PVC utilizada para retorno da solução à caixa da respectiva captação	51
Figura 7 – Distribuição dos blocos na bancada de ensaio, utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento	55
Figura 8 – Desenho esquemático das linhas gotejadoras na bancada de ensaio, das Fases 1 e 2 do experimento A	55
Figura 9 – (a) Solução concentrada pronta para ser aplicada nos tubos gotejadores e (b) aplicação da solução concentrada nas tubulações do bloco 1.....	58
Figura 10 – Desenho esquemático dos Blocos 5 e 6 utilizados na Fase 3 do experimento.....	59
Figura 11 – (a) gotejadores marcados para leitura de vazões, (b) recipiente de plástico para coleta d’água e (c) balança de precisão.....	62
Figura 12 – Vazão média (L h ⁻¹) dos gotejadores convencionais no T1 - F1/água LAB/6 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada.	66
Figura 13 – Vazão média (L h ⁻¹) dos gotejadores convencionais no T2 - F1/água LAB/ mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos.	66

- Figura 14 – Vazão média (L h⁻¹) dos gotejadores convencionais no T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos..... 67
- Figura 15 – Vazão média (L h⁻¹) dos gotejadores convencionais no T4 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada. 67
- Figura 16 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T1 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada 72
- Figura 17 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T2 - F1/água LAB/ mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos. . . 72
- Figura 18 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos. ... 73
- Figura 19 – Vazão média (L h⁻¹) dos gotejadores convencionais no T4 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada. 73
- Figura 20 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada 75
- Figura 21 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T2 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos..... 76
- Figura 22 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺

(sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos	76
Figura 23 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T4 - F1/água LAB/6 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada.....	77
Figura 24 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo A, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	79
Figura 25 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo B, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	80
Figura 26 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo C, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	81
Figura 27 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo D, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	82
Figura 28 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo E, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	83
Figura 29 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo F, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	84
Figura 30 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo G, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	85
Figura 31 – Vazão média (L h ⁻¹) dos gotejadores autocompensantes no T1 - F1/água LAB/6 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada.....	88

- Figura 32 – Vazão média ($L h^{-1}$) dos gotejadores autocompensantes no T2 - F1/água LAB/ $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos..... 88
- Figura 33 – Vazão média ($L h^{-1}$) dos gotejadores autocompensantes no T3 - F1/água LAG/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos 89
- Figura 34 – Vazão média ($L h^{-1}$) dos gotejadores autocompensantes no T4 - F1/água LAB/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada 89
- Figura 35 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T1 - F1/água LAB/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada..... 94
- Figura 36 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T2 - F1/água LAB/ $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos 94
- Figura 37 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T3 - F1/água LAG/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos 95
- Figura 38 – Vazão média ($L h^{-1}$) dos gotejadores convencionais no T4 - F1/água LAB/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada 95
- Figura 39 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores autocompensantes avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada 96
- Figura 40 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T2 - F1/água LAB/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+}

	(óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos	97
Figura 41	– Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos	97
Figura 42	– Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T4 - F1/água LAB/6 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada.....	98
Figura 43	– Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo H, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	101
Figura 44	– Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo I, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	102
Figura 45	– Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo J, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	103
Figura 46	– Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo K, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	104
Figura 47	– Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo L, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	105
Figura 48	– Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo M, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	106
Figura 49	– Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo N, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	107

Figura 50 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo O, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2.....	108
Figura 51 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo P, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1;T3/F2; T4/F1 e T4/F2	109
Figura 52 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 1, 2, 3, 7, 13 e 24 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	111
Figura 53 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 4, 6, 8, 9, 10, 17 e 25 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	112
Figura 54 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 5, 11, 14, 15, 16, 20 e 22 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	112
Figura 55 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 12, 18, 19, 21, 23 e 26 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B.....	113
Figura 56 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 1, 2, 3, 7, 13 e 24 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B.....	115
Figura 57 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 4, 6, 8, 9, 10, 17 e 25 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B.....	115
Figura 58 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 5, 11, 14, 15, 16, 20 e 22 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B.....	116
Figura 59 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 12, 18, 19, 21, 23 e 26 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B.....	116
Figura 60 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 1, 2, 3, 7, 13 e 24 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	118
Figura 61 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 4, 6, 8, 9, 10, 17 e 25 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	118

Figura 62 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 5, 11, 14, 15, 16, 20 e 22 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B.....	119
Figura 63 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 12, 18, 19, 21, 23 e 26 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	119
Figura 64 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 1, 2, 3, 7, 13 e 24 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	121
Figura 65 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 4, 6, 8, 9, 10, 17 e 25 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	122
Figura 66 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 5, 11, 14, 15, 16, 20 e 22 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	122
Figura 67 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 12, 18, 19, 21, 23 e 26 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L ⁻¹ de Fe ⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propostas de classificação do potencial de risco de águas no entupimento de sistemas de irrigação localizada.....	31
Tabela 2 – Teores de ferro total (mg L ⁻¹) encontrados em águas de 50 cidades do sul de Minas Gerais no período de 1995 a 2000.....	33
Tabela 3 - Elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada.....	34
Tabela 4 - Classificação dos sistemas de irrigação por gotejamento segundo a uniformidade estatística (Us) e uniformidade de emissão (EU)	45
Tabela 5 – Classificação do Coeficiente de Variação de Fabricação (CVf) de gotejadores, miniaspersores, difusores e tubos gotejadores, segundo Hillel (1982).....	46
Tabela 6 – Classificação de emissores quanto à uniformidade de vazão, segundo Solomon (1984)	47
Tabela 7 – Classificação de emissores quanto à uniformidade de vazão, segundo ABNT (12:02.08-022/86).....	47
Tabela 8 – Características físicas do solo da área experimental.....	52
Tabela 9 – Análise da água do Laboratório de Irrigação da Esalq/USP (água A), que foi utilizada na preparação das soluções aplicadas nos tratamentos 1 e 2 da fase 1 do experimento	56
Tabela 10 – Análise da água do lago paisagístico pertencente ao departamento de ciências exatas da ESALQ/USP (água B), utilizada na preparação das soluções aplicada nos tratamentos 3 e 4 da fase 1 e da solução da fase dois do experimento.....	57
Tabela 11 – Características técnicas: fluxo , vazão, diâmetro nominal (Ø N) e espaçamento entre gotejadores dos modelos utilizados no experimento das Fases 1 e 2.	60
Tabela 12 – Características técnicas: fluxo, vazão, diâmetro nominal (Ø N) e espaçamento entre gotejadores dos modelos utilizados no experimento da Fase 3.....	61
Tabela 13 – Vazão média (L h ⁻¹), dos modelos A, B, C, D, E, F, G, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias a cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada	69

- Tabela 14 – Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos A, B, C, D, E, F, G, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T2 - F1/água LAB/ $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos..... 69
- Tabela 15 – Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos A, B, C, D, E, F, G, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos..... 70
- Tabela 16 Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos A, B, C, D, E, F, G, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T4 - F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada..... 70
- Tabela 17 – Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos H, I, J, K, L, M, N, O, P e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada..... 91
- Tabela 18 – Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos H, I, J, K, L, M, N, O, P e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T2 - F1/água LAB/ $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos..... 91
- Tabela 19 – Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos H, I, J, K, L, M, N, O, P e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 $mg L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos..... 92
- Tabela 20 Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos H, I, J, K, L, M, N, O, P, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no

Tratamento T4 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada 92

1 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada tem se tornado imprescindível, principalmente em áreas com escassez de precipitação pluvial ou com distribuição irregular da mesma, ao longo do ano. Atualmente a área mundial de produção agrícola é de aproximadamente 1,532 bilhões de hectares, dos quais cerca de 278 milhões de ha estão sob o domínio de infra-estrutura hídrica de irrigação. A área de 18% sob cultivo irrigado produz cerca de 44% da produção total agrícola, enquanto a agricultura de sequeiro responde pelo restante.

A estimativa de potencial para acréscimo na área mundial dominada por sistemas de irrigação situa-se em cerca de 190 milhões de hectares, e considera a possibilidade das áreas potenciais brasileiras que representam um adicional, à atual área irrigada, de cerca de 26 milhões de hectares, ou seja, o Brasil detém um potencial superior a 13% das capacidades mundiais de incorporação de novas áreas à agricultura irrigada (CHRISTOFIDIS, 2006).

Entretanto do volume total de água destinada à agricultura irrigada apenas uma pequena parte é efetivamente utilizada pelas plantações, o restante perde-se por deficiências nas instalações de irrigação, negligências nestas operações ou simplesmente por mal uso da água destinada para este fim, desta forma o uso da irrigação localizada vem crescendo a cada dia, pois se destaca tanto por sua facilidade de operação como por sua eficiência e uniformidade de distribuição de água, refletindo em economia e aumento na produção das culturas.

A uniformidade de aplicação e distribuição da água, nos sistema de irrigação localizada, torna-se um fator de fundamental importância, para uma eficiente irrigação e conseqüentemente um melhor aproveitamento dos recursos hídricos e uma maior redução nos custos. Um sistema de irrigação bem projetado permite que se obtenham uniformidade de aplicação de água acima de 90 %, o que se considera um bom índice para esse sistema. Todavia vários fatores podem afetar a uniformidade de distribuição da água nos sistemas de irrigação localizada, pressão de operação do emissor, velocidade da água na tubulação, alinhamento da linha lateral do equipamento, entupimento dos emissores, entre outros.

O entupimento dos emissores influi diretamente na uniformidade de distribuição do sistema, provoca uma diminuição na uniformidade de distribuição (UD) e no aumento do coeficiente de variação de fabricação (CV_f). De acordo com Resende et al. (2000), um aumento no CV_f está relacionado ao processo de obstrução, cujo principal responsável é a qualidade da

água usada na irrigação, uma vez que o problema não afeta igualmente todos os emissores de uma instalação, introduzindo um novo fator de variação não previsto, que se somam às originadas pela variação de fabricação e dimensionamento hidráulico.

O entupimento de emissores está diretamente relacionado à qualidade da água de irrigação que inclui fatores como: quantidade de partícula suspensa, composição química e população microbiana (COELHO, 2007). É importante salientar que por melhor que seja a qualidade da água de irrigação, as obstruções sempre aparecem, necessitando fazer o tratamento da mesma, para que o sistema possa distribuí-la com a maior uniformidade possível, durante um espaço de tempo prolongado. Para realizar o tratamento, é necessário se fazer antes uma avaliação do risco de obstrução que a água oferece, para que se tenha uma idéia do tipo de tratamento a ser realizado.

A qualidade dos componentes do sistema de irrigação localizada é outro importante fator que pode comprometer a uniformidade e a eficiência de aplicação de água do sistema, visto que uma grande variedade destes equipamentos de irrigação foi colocada no mercado nacional, nem sempre com informações técnicas suficientes sobre os produtos, necessitando-se que se procedam testes para verificar seu desempenho hidráulico em condições de operação no campo. Se os emissores entopem em curto espaço de tempo, os procedimentos de recuperação elevam os custos de manutenção e podem ainda não ser efetivo, o que normalmente leva o irrigante a abandonar o sistema e a retornar a métodos de irrigação menos eficientes.

Portanto, levando-se em consideração os aspectos mencionados, o trabalho teve os seguintes objetivos: (a) Avaliar o desempenho de diferentes tubos gotejadores à suscetibilidade de entupimento em função da aplicação de ferro solúvel na água de irrigação, utilizando como fonte óxido de ferro, sulfato ferroso e hidróxido de ferro, aplicados via diferentes qualidades de água; (b) Verificar o potencial de entupimento em diferentes tubos gotejadores devido à aplicação de água contendo sólidos em suspensão (partículas de solo) em combinação com ferro solúvel e de águas contendo material orgânico (fitoplâncton), com o orifício dos emissores posicionados para baixo e para cima, e (c) Verificar se o limite máximo de ferro solúvel na água de irrigação (dano severo > 1.5 ppm), proposta por Bucks et. al (1979), é válida na condição de qualidade de água simulada neste trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Irrigação localizada

A irrigação localizada é um método de irrigação no qual a água é aplicada diretamente na região radicular da planta, com pequena intensidade e alta frequência, para manter a umidade próxima da ideal, ou seja, da capacidade de campo (BERNARDO et al., 2006). Este método de irrigação tem sido o que mais se desenvolveu nas últimas décadas devido à maneira racional e econômica do uso da água, bem como do aumento da produção e de uma melhor qualidade da cultura.

Segundo Pizarro (1996), estudo divulgado pela International Commission on Irrigation and Drainage - ICID em 1991 apontou um crescimento da área mundial irrigada por métodos de irrigação localizada de 63% em relação aos cinco anos anteriores e de 329% em relação aos dez anos que o precederam.

Conforme Leão e Soares (2000), a irrigação localizada não deve ser considerada somente como uma nova técnica para suprir de água as culturas, mas como parte integrante de um conjunto de técnicas agrícolas nos cultivos de determinadas plantas, sob condições controladas de umidade do solo, adubação, salinidade, doença e variedades selecionadas, de modo que se obtenham efeitos significativos na produção por área e por água consumida, assim também, quanto à qualidade do produto.

As principais vantagens da irrigação localizada são: o controle mais rigoroso da quantidade da água fornecida à planta; o baixo consumo de energia elétrica; a elevada eficiência potencial de aplicação da água; o menor desenvolvimento de ervas daninha nas entre linhas de plantio; a manutenção da umidade do solo próxima à capacidade de campo e a facilidade de distribuição de fertilizante e de defensivos com a água de irrigação.

Entretanto a irrigação por aplicação localizada apresenta limitações tais como o elevado custo inicial e de manutenção, instalações inadequada de alguns projetos que ocasionam o rompimento das tubulações, os danos causados por roedores, a distribuição deficiente do sistema radicular, a exigência de filtragem altamente eficiente e o fator mais limitante: a obstrução dos

emissores e tubulações por sedimentos e crescimento microbiano (HANSON; LAMM, 1995; SILVANAPPANN; LAMM, 1995). Outra desvantagem é que os sistemas de irrigação por gotejamento, normalmente requerem um maior nível de manejo em relação aos demais sistemas, incluindo freqüentes inspeções e uso de medidores de vazão e pressão para verificar se o sistema está funcionando como definido no projeto (SMAJSTRLA, 1991).

No Brasil, a irrigação localizada começou a ser utilizada no final da década de 70 e nos últimos anos tem vivenciado um grande desenvolvimento, tanto em termos de tecnologia como em área irrigada. Christofidis (2006) informa que a incorporação de áreas dominadas pelo método de irrigação localizada (gotejamento, microaspersão, etc), elevou-se de 112.730 ha (1996), para cerca de 338.000 hectares (2003/04). A região Nordeste expandiu sua área coberta com sistemas de irrigação localizados de 55.000 a 176.800 hectares no mesmo período, e o estado da Bahia, tornou-se o estado com maior área irrigada pelo método localizado, respondendo por 52% deste total. Além dos dados fornecidos pelo autor, acredita-se que nos próximos anos não só novas áreas utilizarão predominantemente a irrigação localizada como, também, haverá uma conversão de outros métodos, tais como a irrigação por superfície e aspersão, para o gotejamento e microaspersão.

O uso da irrigação localizada vem permitindo que o semi-árido brasileiro se torne uma região altamente tecnificada e especializada em produção de frutas e hortaliças de boa qualidade, com destaque para o Vale do São Francisco, cuja produção é destinada à exportação (LOIOLA; SOUZA, 2001).

2.1.2 Qualidade de água para a irrigação localizada

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. No entanto, o aspecto qualidade tem sido desprezado devido ao fato de que no passado as fontes de água, no geral, eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização. Esta situação, todavia, está se alterando em muitas localidades. O uso intensivo de praticamente todas as águas de boa qualidade implica, tanto para os projetos novos como para os antigos que requerem águas adicionais, em ter que se recorrer às águas de qualidade inferior. Para se evitar problemas conseqüentes, deve existir planejamento efetivo que assegure o melhor uso possível das águas de acordo com sua qualidade. (AYERS; WESTCOT, 1991).

No sistema de irrigação localizada a qualidade da água é essencial para uma perfeita operação e manutenção do mesmo. A água a ser utilizada neste sistema, deve ser cuidadosamente analisada com a intenção de avaliar qualquer problema potencial de entupimento (HASSAN, 1999).

Segundo Rangel (2001), há uma mudança temporal na qualidade da água ao longo do ano provocada pelas mudanças de estação. Desta forma, o sistema de tratamento deve ser dimensionado para operar satisfatoriamente durante a estação do ano em que a qualidade da água é a pior possível.

A qualidade da água de irrigação está diretamente relacionada com a obstrução de emissores (POVOA; HILLS, 1994), a qual recebe diversas classificações, onde umas destas pode ser observada na Tabela 1 desenvolvida por Bucks et al. (1979), que tem por objetivo proporcionar uma orientação de caráter quantitativo, indicando critérios para avaliação do risco de entupimentos dos emissores.

Tabela 1 – Propostas de classificação do potencial de risco de águas no entupimento de sistemas de irrigação localizada

Causa obstrutora potencial	Unidade	Grau de restrição ao uso		
		Nenhum	Leve a moderado	Severo
Sólidos suspensos	mg L ⁻¹	< 50	50-100	>100
pH	mg L ⁻¹	< 7,0	7,0-8,0	>8,0
Sólidos dissolvidos	mg L ⁻¹	< 500	500-2.000	>2.000
Manganês	mg L ⁻¹	< 0,1	0,1-1,5	>1,5
Ferro	mg L ⁻¹	< 0,1	0,1-1,5	>1,5
Sulfeto de hidrogênio	mg L ⁻¹	< 0,5	0,5-2,0	>2,0
População bacteriana	Nº máximo de UFC*/ml	< 10.000	10.000-50.000	>50.000

*Unidades Formadores de Colônia

Fonte: Bucks, Nakayama e Gilbert (1979)

A Tabela 1 de acordo com o trabalho de Pitts et al. (1990), foi reformulada por Todd, em 1980, onde foi acrescentado o item dureza, com valores de risco baixo para dureza menor que 150 mg L⁻¹; risco moderado para o intervalo entre 150 e 300 mg L⁻¹ e risco severo para dureza maior que 300 mg L⁻¹. A falta de informações, completas e sistemáticas, quanto à qualidade da água, poderá conduzir ao uso de águas de qualidade inadequada, com conseqüentes efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas dos solos, nos rendimentos das culturas e na obstrução de emissores.

Águas para irrigação provenientes de poços rasos, podem apresentar problemas de qualidade. *Actinomicetos* e *Vitreoscilla*, *Enterobacter*, *Gallionella*, *Leptothrix*, *Toxothrix*, *Crenothrix* e *Sphaerotilus*, bactérias oxidantes de Fe^{2+} , são frequentemente observadas (GILBERT; FORD, 1986).

Segundo Paterniani e Pinto (2001), as águas de irrigação com pH inferior a 7 tornam-se corrosivas, enquanto valores acima de 7 favorecem a incrustação de materiais nas tubulações e equipamentos de irrigação. Segundo os mesmos autores outros aspectos devem ser verificados a fim de reduzir os efeitos corrosivos e incrustantes da água, tais como oxigênio dissolvido, gás sulfídrico, sólidos totais dissolvidos, cloretos, ferro, dureza total, entre outros.

Pizarro (1990), afirma que não se dispõe de um método para avaliar com total segurança os riscos de obstruções ocasionados pelo uso de uma determinada água de irrigação, pois alguns fatores são variáveis, como no caso da temperatura, que afeta a formação de precipitados e o desenvolvimento de microorganismos.

2.1.3 Ferro nas águas e nos solos

O ferro nas águas é proveniente da intemperização do material geológico de origem, como solos e rochas, bem como do carreamento de materiais sólidos do entorno da bacia, proveniente das ações antrópicas. Na água de irrigação o ferro encontra-se em sua forma, reduzido (Fe^{+2}), mais solúvel, que ao passar pelo sistema de filtragem oxida-se, precipitando e adquirindo a forma de Fe^{+3} (MANTOVANI, 2006).

O ferro e o manganês, em elevados teores são os principais causadores das obstruções de tubulações e emissores dos sistemas de irrigação. Estes elementos ao entrarem em contato com o oxigênio atmosférico ou incorporado à água, oxidam-se passando para as formas Fe^{3+} e Mn^{4+} , de baixo coeficiente de solubilidade, precipitam-se facilmente no interior das tubulações e dos emissores, impedindo ou dificultando a passagem normal da água (MARTINS; SPERLING, 1997).

Cordeiro (2002), em pesquisas no município de Viçosa, Minas Gerais, constataram que problemas de obstrução de gotejadores, não raro acontecem em sistemas de irrigação por gotejamento abastecido com águas superficiais contendo elevada concentração de ferro.

Nos solos o ferro pode ser encontrado na forma de hematita (Fe_2O_3), sesquióxido de férrico ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 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 da concentração de ferro tanto solúvel quanto em suspensão nas águas.

A Tabela 2 mostra os teores de ferro total (mg L^{-1}) encontrados em águas de 50 cidades do sul de Minas Gerais no período de 1995 a 2000.

Tabela 2 – Teores de ferro total (mg L^{-1}) encontrados em águas de 50 cidades do sul de Minas Gerais no período de 1995 a 2000

CIDADE	Ferro total (mg L^{-1})	CIDADE	Ferro total (mg L^{-1})
Alfenas	2,24	Itajubá	2,88
Baependi	2,63	Itapeva	2,47
Borda da Mata	2,02	Jacuí	2,35
Botelhos	2,07	Lavras	1,80
Brasópolis	4,31	Liberdade	2,27
Bueno Brandão	2,58	Maria da Fé	3,35
Cabo Verde	2,54	Minduri	2,01
Camanducaia	3,19	Monsenhor Paulo	3,72
Campos Gerais	2,74	Monte São	2,91
Cana Verde	2,38	Monte Sto. Minas	2,22
Candeias	2,16	Muzambinho	2,98
Careacú	3,79	Nova Resende	2,21
Carmo Cachoeira	2,46	Perdões	3,40
Carvalhopólis	3,44	Piranguinho	2,36
Cássia	2,90	Pouso alegre	2,68
Conc. dos Ouros	2,67	S. Bento Abade	2,12
Conc. Rio Verde	2,35	S. José Barra	2,72
Cordislândia	3,84	S. Sebastião Paraíso	2,41
Cristais	3,31	Santana Vargem	2,30
Cruzília	2,28	Santo A. Amparo	2,79
Extrema	2,56	São Tiago	2,75
Fortaleza Minas	2,63	Sta. Rita Sapucaí	2,33
Guaranésia	2,35	Toledo	2,65
Guaxupé	3,15	Três Corações	2,74
Inconfidentes	3,25	Varginha	2,21

Fonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais (2000)

2.1.4 Obstruções em sistemas de irrigação por gotejamento

O entupimento de emissores é um grave problema associado ao gotejamento, pois dificulta a operação de sistemas de irrigação, é de difícil detecção e sua limpeza e substituição podem ser bastante onerosas (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

Nos dias atuais existem inúmeros gotejadores sendo comercializados, onde cada tipo de emissor possui uma sensibilidade própria ao entupimento, contudo, segundo Ravina et al. (1992),

todos os gotejadores são vulneráveis a obstrução pelo crescimento biológico, uma vez que, geralmente possuem passagens estreitas e aberturas pequenas, que variam de 0,5 a 1,5 mm. Entretanto, os emissores com maiores vazões são menos susceptíveis ao entupimento se comparados aos emissores do tipo orifício e aqueles que possuem membranas autolimpantes ou que possibilitam maior turbilhonamento da água no seu interior apresentam menos vulnerabilidade ao entupimento dos bocais dos emissores (RAVINA et al., 1992).

As obstruções em sistemas de irrigação por gotejamento podem ocorrer devido a processos físicos (sedimentação de partículas inorgânicas em suspensão); processos químicos (deposição de minerais) e processos biológicos (desenvolvimento de microorganismos no interior das instalações) (PIZARRO, 1996). A Tabela 3, desenvolvida por Bucks et al. (1979) e adaptada por Feigin et al. (1991), apresenta de forma mais clara estes fatores.

Tabela 3 - Elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada

Físicos (Sólidos em suspensão)	Químicos (Precipitados)	Biológicos (Bactéria e alga)
1 Partículas inorgânicas: (a) Areia (b) Silte (c) Argila (d) Resíduo plástico	1 Carbonatos de cálcio ou magnésio 2 Sulfato de cálcio 3 Metais pesados	1 Filamentos 2 Lodos 3 Deposições microbianas: (a) Ferro (b) Enxofre (c) Manganês
2 Partículas orgânicas: (a) Plantas aquáticas (fitoplâncton) (b) Animais aquáticos (zooplâncton) (c) Bactéria	4 Hidróxidos, óxidos, carbonatos, silicatos e sulfetos 5 Óleo e outros lubrificantes 6 Fertilizantes: (a) Fosfato (b) Amônia líquida (c) Ferro, cobre, zinco e manganês	

Fonte: Feigin et al. (1991)

O entupimento de emissores por causa física está principalmente relacionado com a quantidade de sedimentos que está presente em suspensão na água de irrigação ou que é succionada pelo conjunto motobomba. Partículas de PVC e fitas de polietileno utilizadas para vedação de rosca em tubos, bem como restos de corpos de pequenos insetos, principalmente formigas e aranhas, estão comumente associados à ocorrência deste tipo de entupimento; a existência de partículas físicas foi identificada por Gilbert et al. (1981) como a principal causa de entupimento de emissores, com 55% das ocorrências. Boman e Ontermma (1994) observaram em

entrevistas a irrigantes, realizadas na Flórida, EUA, que o entupimento de emissores, por fatores físicos, foi observado em 72% dos entrevistados, estando próximo ao percentual de 54% determinado por Boman (1995), em estudo de campo, também na Flórida.

Conforme Pitts et al., (1990), mesmo partículas muito pequenas, como as de argila e organismos microscópicos, como algas e algumas bactérias, podem causar obstruções no sistema de irrigação, por floculação e formação de partículas maiores ou por precipitação de íons. O autor relata, também, que algumas bactérias, devido à oxidação do ferro dissolvido e do sulfeto de hidrogênio, originam biofilmes, que de acordo com Adin e Sacks (1991) agem como adesivos e facilitam a acumulação de argila, algas e outras partículas relativamente pequenas num mecanismo de entupimento gradual.

A severidade do entupimento, muitas vezes, depende mais do tamanho do que da quantidade de partículas na água de irrigação (ADIN; SACKS, 1991).

O entupimento de origem química em emissores se relaciona principalmente à passagem de determinados elementos químicos na forma natural em que se encontram solúveis na água, para um novo estado de oxidação/redução, de menor solubilidade, com formação de precipitados. Tais processos de oxidação/redução envolvem a presença de bactérias, as quais podem, ou não, ser específicas para um determinado elemento. Ferro, enxofre e manganês são os principais elementos químicos incluídos nesse processo. (GILBERT et al., 1979; LOPEZ et al., 1992).

A condição de pH da água e a incompatibilidade entre fertilizantes são também responsáveis diretos por formação de precipitados químicos causadores de obstrução em emissores. (PATERNIANI; PINTO, 2001).

A obstrução devido a processos biológicos comporta-se como a maior comprometidora em sistemas de irrigação localizada. Os fatores de origem biológica são causados por pequenos organismos aquáticos, como larvas, algas, fungos e bactérias que passam através dos filtros e desenvolvem-se formando grandes colônias no interior as tubulações, sendo seu crescimento favorecido por condições de repouso, iluminação, temperatura e nutrientes, como nitrogênio e fósforo. O pequeno diâmetro do orifício de gotejadores e a pequena velocidade da água ($< 0,5 \text{ m s}^{-1}$), ao passar através dos emissores, favorecem o entupimento pelo crescimento biológico (TAJRISHY et al., 1994; RAVINA et al., 1997).

Algas em águas superficiais podem adicionar carbono orgânico ao sistema, favorecendo o desenvolvimento de limo nas paredes das tubulações. A combinação de fertilizantes e o

aquecimento da água nas tubulações de cor preta, também, podem promover o crescimento de limo (GILBERT; FORD, 1986).

Resende et al. (2000), verificaram que o entupimento por causa biológica estava mais relacionado à arquitetura interna dos gotejadores do que aos parâmetros de vazão e diâmetro do orifício.

O desenvolvimento de microorganismos no interior das tubulações de irrigação pode ser a causa mais freqüente de obstruções em qualquer ponto da rede, embora seu efeito seja mais prejudicial nos emissores. Neste fenômeno intervém a presença dos próprios microorganismos, além de outros fatores como qualidade da água (conteúdo de Fe e SH_2 , oxigênio e pH), temperatura de água etc. (PIZARRO, 1996).

Além das partículas inorgânicas e orgânicas, resíduos plásticos e pequenos organismos podem bloquear os gotejadores de sistemas de irrigação localizada (GILBERT et al., 1981; ADIN et al., 1991). Gilbert et al. (1981) relataram que a presença de resíduos plásticos do próprio sistema é a causa mais comum de obstrução sendo responsável por 26% dos entupimentos observados no estudo.

2.1.5 Obstrução de gotejadores devido a sólidos em suspensão

Segundo Galtaldini e Mendonça (2003) o termo “sólidos” é amplamente usado para a maioria dos compostos presentes em água e que permanecem em estado sólidos após evaporação. Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra durante um tempo fixado (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2005).

Os sólidos suspensos que podem entupir as pequenas passagens dos gotejadores, na maioria das vezes, possuem componentes de origem mineral (areia, silte, argila etc.), ou orgânica (matéria orgânica morta, tais como detritos animais e vegetais, e viva tais como bactérias, vírus, protozoários e outros). Geralmente, partículas maiores que 0,1 do diâmetro da passagem do escoamento de água no gotejador representam risco potencial de entupimento (KELLER; BLIESNER, 1990).

Segundo Bucks (1979), águas contendo teores maiores que 50 mg L^{-1} de sólidos em suspensão, possuem ligeira a moderada restrição de uso nos sistemas de irrigação localizada, pois podem causar obstruções físicas.

Partículas em suspensão na água, maiores que o orifício do gotejador são as principais causas de entupimento em emissores, no entanto, de acordo com Pitts et al. (1990), as pesquisas mostram que, mesmo utilizando água com mais de 500 mg L^{-1} de sólidos em suspensão o entupimento pode ser evitado, quando os tamanhos das partículas forem maiores que a malha dos elementos filtrantes.

López et al. (1992) afirmam que dependendo do tipo de sólidos em suspensão ou impurezas da água, os sistemas devem ser providos de algum tipo de equipamento de filtragem. Segundo os autores, se forem consideradas a natureza das obstruções, as mesmas podem ser causadas por partículas orgânicas ou inorgânicas ou, por precipitações e/ou proliferação de bactérias.

2.1.6 O efeito das ferrobactérias na obstrução de gotejadores

A obstrução de emissores, causada por bactérias que oxidam o ferro apresentam um difícil controle. Até mesmo concentrações férreas muito pequenas, menores que $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, são suficientes para promover o crescimento bacteriano, que geralmente apresenta coloração avermelhada. A precipitação do ferro e o rápido crescimento das bactérias criam um material volumoso que pode entupir um sistema de irrigação por gotejamento completamente em questão de algumas semanas (TEIXEIRA, 2006).

Os gêneros das ferrobactérias mais comuns que causam problemas de obstrução nos emissores, quando presentes na água são: *Sphaerotillus*, *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Toxothrix* e *Gallionella*. Os quatro primeiros gêneros se caracterizam pelo arranjo filamentoso de suas células, que são envolvidas por uma bainha, daí recebem, também, a denominação de bactérias com bainha. As bactérias do gênero *Gallionella* são unicelulares, retiformes ou encurvadas e segregam um filamento longo, em forma de fitas entrelaçadas, a partir do hidróxido férrico depositado na célula.

Alguns gêneros de bactérias filamentosas oxidam Fe^{2+} (ferro solúvel) transformando em Fe^{3+} (ferro insolúvel), que serve como fonte primária de energia para essas bactérias, causando,

assim, a precipitação deste elemento, especialmente nas concentrações de Fe^{2+} acima de $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ (GILBERT; FORD, 1986). Bactérias não-filamentosas dos gêneros *Pseudomonas* e *Enterobacter*, também, podem precipitar o ferro solúvel e reter o precipitado na massa gelatinosa formada por elas, atuando como cimentante de pequenas partículas minerais (FORD, 1993; PIZARRO, 1996). Posteriormente, o ferro insolúvel forma o hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, que é um precipitado com elevado potencial de entupimento de gotejadores. Estas bactérias, também, têm importância sanitária, causando a formação de crostas de ferrugem no interior de tubos ou de residências, precipitando hidróxido férrico em águas ricas nesse elemento. Elas chegam a formar extensos depósitos geológicos de ferro e, nas canalizações, constituem freqüentes causas de obstruções, além de dar uma coloração parda avermelhada à água.

Segundo Silva e Almeida (1979), as ferrobactérias desenvolvem-se em pH que varia entre 4,3 e 8,5 e conforme Ralph e Stevenson (1995), a taxa de oxidação do íon ferroso (Fe^{2+}) por ferrobactérias, está diretamente relacionada ao valor do pH da água de irrigação, onde a maior taxa desta oxidação ocorrem em águas com pH 5,8. Estes organismos não produzem seu próprio alimento e não requerem luz do sol para se desenvolver. No entanto, sistemas com suprimento de água aberto são mais suscetíveis ao desenvolvimento de mucilagem (KELLER; BLIESNER, 1990).

Conforme English (1985) as interações, entre ferro e bactérias, podem ocorrer em concentrações muito baixas de ferro, da ordem de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, onde o ferro precipitado forma uma incrustação vermelha, amarelo ou bronzeado que adere ao PVC ou em tubos de polietileno, podendo, até mesmo entupir completamente os emissores. Contudo, Ayers e Westcot (1991) concordam que, quando os custos de filtros são incluídos, o valor máximo do teor de ferro na água pode chegar até $2,0 \text{ mg L}^{-1}$.

A oxidação do ferro pode ocorrer, também, pelo contato do mesmo, com o ar ou com agentes oxidantes (Cloro Livre) contidos na água, tanto em ambientes aeróbico como anaeróbico (KELLER; BLIESNER, 1990).

Um dos exemplos mais freqüentes de biocorrosão, causada por ferrobactérias, é observado em tubulações, de ferro fundido, utilizadas para a distribuição de água potável e para a irrigação, em que excrescências tuberculares, formadas na parede interna das tubulações, são constituídas principalmente por hidróxido férrico associado a outros compostos de ferro, cálcio e manganês (TEIXEIRA, 2006).

2.1.7 Obstrução de gotejadores devido a interações de fatores

Estudos realizados por Taylor et al. (1995) evidenciaram que as interações entre fatores físicos, químicos e biológicos foram responsáveis por 90% dos gotejadores entupidos. Segundo Costa et al. (1994), a fertirrigação promove o desenvolvimento e a proliferação de fungos e algas, aumentando, o risco de entupimento dos gotejadores. Adin et al. (1991) relataram que as algas presentes em efluentes obstruíram gotejadores, somente após a ocorrência de deposições minerais ou de material gelatinoso.

Bucks et al. (1979), relatam que os fatores químicos, físicos e biológicos de entupimento possuem uma estreita relação, portanto, pode-se reduzir o efeito de um ou dois fatores ao se controlar outro, como no caso do biofilme, que ao ser reduzido, ocorre uma diminuição na tendência de partículas em suspensão aderirem e desenvolverem lodo nos emissores e nas linha de irrigação.

O processo de entupimento causado por biofilme é outro importante exemplo sobre interações de fatores na obstrução de gotejadores, de acordo com Taylor et al. (1995), o biofilme desenvolve-se dentro de linhas laterais devido a deposição de algas e de outros sólidos orgânicos, onde as altas concentrações de matéria orgânica estimulam o crescimento de bactérias heterotróficas formando o biofilme. A tensão de cisalhamento proporcionada pelo fluxo de água junto às paredes da tubulação promove o desprendimento de fragmentos do biofilme, que são então depositados sobre as partículas inorgânicas que estavam inicialmente alojadas nas estreitas passagens dos gotejadores, desencadeando, assim, o entupimento.

Águas com teores entre 0,1 e 0,3 mg L⁻¹ de ferro, originam formas de incrustação geralmente ligeiras; quando a concentração de ferro varia entre 0,4 e 1,5 mg L⁻¹ poderá aparecer formas graves de incrustação, se, existirem outras condições favoráveis ao desenvolvimento dos organismos. Acima deste último valor, à ação das ferrobactérias associa-se à precipitação química do ferro, que, por seu lado, parece ter ação na deposição de substâncias orgânicas em suspensão (FORD, 1986). Theis e Singer (1974) descreveram uma particularidade do íon ferroso (Fe²⁺), que consiste na sua capacidade de associar-se a determinados materiais orgânicos, formando complexos resistentes ao efeito da oxidação, mesmo com a presença de oxigênio dissolvido na água.

Filtragens eficientes e lavagens periódicas das linhas laterais do sistema de irrigação localizada ajudam a controlar as obstruções causadas por agentes físicos, contudo, partículas combinadas com lodo de bactérias, muitas vezes, criam um tipo de obstrução que pode não ser controlado pelo processo de filtração, fato este observado por Gilbert e Ford (1986), que coletaram, dentro de emissores entupidos, um material cimentado juntamente com o lodo de bactérias do gênero *Pseudomonas* e *Enterobacteria*, embora as partículas individuais, desta massa, fossem bastante pequenas para passar através dos emissores.

Segundo Clark e Smajstrla (1992), os sistemas de irrigação localizada podem ser obstruídos parcial ou completamente através do crescimento de bactérias, fungos ou algas que estão presentes nas fontes hídricas superficiais e subterrâneas os quais se desenvolvem com facilidade quando estão presentes na água de irrigação elementos químicos como nitrogênio, fósforo, enxofre e ferro como fonte de nutriente para as culturas irrigadas.

2.1.8 Técnicas para reduzir o entupimento dos emissores

A sensibilidade ao entupimento é uma consideração muito importante na seleção do gotejador, geralmente, emissores com seção transversal abaixo de 1,5 mm apresentam alguma sensibilidade à obstrução. A geometria da passagem da água, também deve ser uma característica do emissor a ser considerada. Neste caso, são preferíveis: os gotejadores com poucas zonas mortas no conduto de passagem, no caso dos não autocompensantes, pois os auto-compensantes reduzem a passagem à medida que se aumenta a pressão (LOPEZ et al., 1997).

O bom desempenho dos sistemas de irrigação localizada deve ser maximizado, a fim de assegurar uma relação custo/benefício favorável. Se os emissores entopem em um curto espaço de tempo, os procedimentos de recuperação irão proporcionar custos adicionais na manutenção do sistema, além de que podem não ser tão eficientes em algumas circunstâncias. Boman e Ontermma (1994), através de entrevistas realizadas com irrigantes, representando 53 mil hectares com o cultivo de citrus no estado da Califórnia – EUA –, constataram que o custo médio para prevenção no processo de obstrução de emissores de US\$60,00 por hectare.

As técnicas para a redução e prevenção do entupimento de gotejadores consistem em se associar medidas relacionadas ao manejo do sistema de irrigação, tais como filtração da água; inspeção do campo e lavagem das linhas laterais, ao tratamento químico da água. No tratamento

químico, a cloração é o processo mais utilizado, porém, outras substâncias podem ser utilizadas, tais como: ácidos clorídricos e fosfóricos; sais de cobre e a amônia entre outros (GILBERT; FORD, 1986).

É importante salientar que, a escolha de uma ou mais medidas citadas, para a redução e prevenção do entupimento de emissores, deve ser cuidadosa, pois em certos casos podem ser ineficientes, dispendiosas, apresentando riscos à saúde humana ou causando resultados indesejáveis, como a fitotoxidez. Usualmente utilizam-se filtros combinados a um tratamento químico, inspeção a campo e lavagem das linhas laterais.

Embora o processo de filtragem isoladamente não previna o entupimento de gotejadores, mesmo com a utilização de filtros de areia, uma filtragem adequada da água de irrigação reduz o requerimento de cloração e a frequência de lavagem das linhas laterais (TAJRISHY et. al., 1994).

Conforme Capra e Scicolone (2004) a filtração da água é a principal ação preventiva quanto ao entupimento de emissores, causada por partículas tanto de origem mineral quanto orgânica. Se a água de irrigação for residuária e apresentar elevada concentração de sólidos suspensos, recomenda-se o emprego de sedimentadores, eficientes na remoção de areia e silte.

A instalação de válvulas automáticas, ou aberturas manuais periódicas do final de linha, ajuda a remover partículas sedimentadas (SMAJSTRLA; BOMAN, 1999). A frequência de lavagem das linhas dependerá da qualidade da água de irrigação. Em alguns casos, há necessidade de lavagem das linhas após cada irrigação. A velocidade mínima recomendada é de $0,30 \text{ m.s}^{-1}$ para permitir o deslocamento e transporte das partículas (CORDEIRO, 2002).

Ravina et al. (1992), trabalhando com 12 modelos diferentes de gotejadores, concluíram que a grande maioria dos emissores apresentou maior confiabilidade de operação quando se associaram filtro de tela de 80 mesh, cloração diária (10 mg L^{-1}) e lavagem das laterais a cada duas semanas.

Normalmente no tratamento químico, adotam-se medidas cujo objetivo é evitar que as obstruções apareçam rapidamente, o que se define como tratamento preventivo. Por outro lado, existem recomendações de tratamento químico, para que as obstruções já existentes sejam destruídas, esse tipo de tratamento chama-se tratamento de limpeza ou de recuperação. Para o tratamento de recuperação dos emissores existem produtos que removem a mucilagem aderida às paredes das tubulações e gotejadores deixando, assim, a passagem de água novamente livre (VIEIRA et al., 2004).

O cloro é um tratamento químico, freqüentemente utilizado como preventivo da água de irrigação e de acordo com Pizarro (1996), é importante que no último emissor da linha lateral a água saia com uma concentração de cloro livre entre 0,5 e 1,0 mg L⁻¹, por aproximadamente 45 minutos. se o tempo for inferior ao recomendado não haverá segurança em relação ao efeito bactericida, e no caso de uma a concentração menor, o efeito poderá ser inverso, uma vez que quantidades insuficientes de cloro podem estimular o rápido crescimento de bactérias.

Cordeiro (2002) aplicou continuamente, em seu estudo com cinco modelos de gotejadores, abastecidos com água contendo aproximadamente 3,0 mg L⁻¹ de ferro, uma concentração de 0,5 a 1,0 mg L⁻¹ de cloro livre na água. O autor utilizou à cloração, aeração e decantação como medida preventiva e concluiu, após 300 horas de funcionamento, que não houve redução significativa de vazão em nenhum modelo testado.

Hills e Brenes (2001) recomendam manter o regime turbulento no interior das linhas laterais de gotejamento para evitar sedimentação das partículas suspensas e posterior obstrução dos orifícios.

Conforme Pizarro (1996), uma medida bastante eficiente para reduzir e até mesmo eliminar as obstruções causadas pelo ferro, seria a precipitação de todo este íon, que pode ser conseguido arejando a água por meio de saltos, bandejas, sistemas mecânicos em tanques abertos; ou injetando ar na água induzindo, assim, à oxidação e precipitação do ferro, onde uma vez precipitado, o ferro pode ser separado por meio de filtros. No entanto, ambos os processos devem ser avaliados sob o ponto de vista econômico.

O uso de leitos cultivados com macrófitas pode ser uma técnica no tratamento da água residuária a ser utilizada na irrigação, no entanto, de acordo com Sandri et al. (2000), estudos mostram que, embora a remoção de matéria orgânica tenha se mostrado eficiente com a aplicação deste método, a presença de microrganismos ainda é elevada, necessitando, assim, de estudos mais detalhados quanto ao efeito de sua aplicação sobre o sistema solo-água-planta, considerando as condições climáticas, desenvolvimento de cultura, qualidade dos efluentes gerados e método de irrigação.

Nakayama e Bucks (1991) sugerem o uso de inibidores químicos adicionados ao material plástico do emissor, para o tratamento preventivo, do entupimento de origem biológica, a exemplo do uso de herbicidas para o controle de intrusão por raízes em linhas de gotejadores que trabalham enterradas no solo. No tocante à utilização de emissores autolimpantes, os autores

ressaltam que, na prática, as membranas flexíveis utilizadas tendem a falhar com o tempo, como resultado da sua deterioração, em função dos vários produtos químicos adicionados ao sistema.

Jackson e Kay (1987) sugerem a utilização de emissores pulsantes, com vazões equivalentes até três vezes à vazão contínua, como forma de aumentar o diâmetro de passagem dos emissores sem alterar seu padrão de molhamento, diminuindo, assim, o risco de entupimento.

2.1.9 Uniformidade de Distribuição de água

A uniformidade de distribuição (UD) de água às plantas é fundamental para a obtenção da máxima produtividade da lavoura e/ou rentabilidade estando diretamente ligada ao problema de entupimento dos gotejadores, bem como ao controle de qualidade nos processos de fabricação dos gotejadores e ela é um fator importante a ser determinado, a fim de relacionar a eficiência de aplicação com o melhor espaçamento entre linhas (MERRIAM; KELLER, 1978).

Tajrishy et al. (1994) afirmam que o entupimento de uma pequena percentagem dos emissores pode afetar severamente a uniformidade de distribuição da água. Smajstrla (1995) acrescenta também a redução na uniformidade de distribuição de nutrientes, de crescimento e de rendimento das plantas.

Na literatura disponível, há poucos modelos empíricos que relacionam a uniformidade e aplicação de água com o entupimento de gotejadores. Bralts et al. (1987) propuseram, a partir do coeficiente de variação de fluxo do emissor, um coeficiente estatístico de uniformidade (V_q), o qual inclui o grau de entupimento de emissores, conforme apresentado na Equação 1. O inconveniente desta metodologia de avaliação de sistemas já instalados reside na dificuldade de mensuração do grau de entupimento 'p' parcial do emissor. Adicionalmente, os autores não definem o que consideram um emissor parcialmente entupido o que dificulta a determinação do parâmetro 'a' da equação, no entanto Coelho (2007) afirma que seja qualquer valor abaixo ou acima da vazão relativa (100%). Na comparação experimental do coeficiente proposto, os autores não conseguiram adequar uma metodologia conveniente para a simulação do entupimento parcial de emissores, fazendo-a somente para o entupimento total, por meio do uso de adesivo plástico à saída do orifício dos emissores, de forma uniformemente distribuída ao longo da linha lateral.

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

Em que:

V_q - coeficiente de variação de emissores entupidos, decimal;

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

n - número de emissores avaliados, adimensional;

t - número de emissores sem entupimento, adimensional;

p - grau de entupimento parcial do emissor, adimensional e

a - número de emissores parcialmente entupidos, adimensional.

Bralts et al. (1987), também propuseram outro coeficiente estatístico para expressar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação localizada, conforme mostra a Equação 2.

$$U_s = 100 \left(1 - \frac{\sigma_q}{q_m} \right) \quad (2)$$

Em que:

U_s - uniformidade estatística (%);

σ_q - desvio padrão da média das vazões dos gotejadores ($L h^{-1}$) e

q_m - vazão média dos emissores ($L h^{-1}$).

Outro coeficiente utilizado para expressar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação localizada, de acordo com Merriam e Keller (1978) é um método de obtenção da ou uniformidade de distribuição (UD) dada pela relação entre a vazão média dos 25% menores valores e a média de todas as vazões dos gotejadores ensaiados, conforme mostra a Equação 3.

$$UD = \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (3)$$

Em que:

UD - uniformidade de distribuição (%);

$q_{25\%}$ - vazão média dos 25% menores valores de vazão observada ($L h^{-1}$) e

q_m – média de todas as vazões ($L\ h^{-1}$)

Na Tabela 4, estão apresentados os valores de uniformidade estatística (Us), recomendados pela norma ASAE EP 458 (ASAE Standards, 2001), comparados com os valores de coeficiente de uniformidade sugeridos por Merriam e Keller (1978).

Tabela 4 - Classificação dos sistemas de irrigação por gotejamento segundo a uniformidade estatística (Us) e uniformidade de emissão (EU)

Classe	Us (%)	EU (%)
Excelente	95-100	> 90
Boa	85 – 90	90 – 80
Razoável	75 – 80	80 – 70
Ruim	65 - 70	< 70
Inaceitável	< 60	

Fonte: ASAE (1998); Merriam e Keller (1978)

Uma baixa uniformidade significa que há excesso de água em certos pontos do campo e falta de água em outros. Para atender as necessidades hídricas das plantas localizadas em posição crítica, aumenta-se o consumo de água utilizada na irrigação da área, podendo haver percolação profunda da água, aumento no consumo de energia, lixiviação de nutrientes, necessidade de drenagem e contaminação subterrânea (CAPRA; SCICOLONE, 2004). Desta forma, pode-se afirmar que, quanto maior o valor do coeficiente de distribuição de água de um sistema, menor serão as lâminas aplicadas para se atingir uma máxima produção.

Conforme Lopes et al. (1997) a não uniformidade de distribuição nos sistemas localizados resulta de uma série de fatores associados: diferença de pressão, que se produz na rede, devido às perdas de carga e à irregularidade da topografia do terreno; insatisfatória uniformidade de fabricação dos emissores, em razão do inadequado controle de qualidade; número de emissores por planta; variação das características hidráulicas dos emissores, ao longo do tempo, devido a possíveis obstruções e/ou envelhecimento, temperatura e variação de fabricação dos reguladores de pressão quando existirem.

2.1.10 Coeficiente de Variação de Fabricação

O coeficiente de variação de fabricação (CV_f) é um índice que informa a variação da vazão para uma determinada amostra de gotejadores novos. Considerando que as secções transversais de fluxo são normalmente de diâmetros reduzidos, a fabricação deverá ser precisa,

uniforme e constantemente monitorada, pois pequenas variações poderão causar grandes diferenças na vazão (VIEIRA, 1996). Entretanto, Moraes (1984) salienta que é praticamente impossível fabricar duas unidades exatamente iguais, pois alguma variação sempre existirá entre objetos supostamente “idênticos”.

Keller e Karmeli (1974) propuseram o uso do coeficiente de variação de fabricação em equipamentos de irrigação, como medida estatística do processo de fabricação dos emissores.

O CV_f pode ser estimado pela relação entre o desvio-padrão da vazão de uma amostra pela respectiva média, conforme mostra a Equação 3, proposta por Solomon (1979).

$$CV_f = \frac{\sigma}{q_m} 100 \quad (4)$$

em que:

CV_f – coeficiente de variação de fabricação (%);

σ – desvio padrão da vazão média do emissor ($L h^{-1}$) e

q_m – vazão média a determinada pressão e temperatura padrão ($L h^{-1}$).

Hillel (1982), agrupa os emissores em 2 categorias e os qualifica de acordo com o coeficiente de variação de fabricação, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação do Coeficiente de Variação de Fabricação (CV_f) de gotejadores, miniaspersores, difusores e tubos gotejadores, segundo Hillel (1982)

(1) Gotejadores, miniaspersores e difusores		(2) Tubos gotejadores	
CV_f	Classificação	CV_f	Classificação
< 5%	bons	< 10%	bons
5 a 10%	médios;	10 a 20%	médios
10 a 15%	deficiente;	> 20%	inaceitáveis
> 15%	inaceitáveis.		

Fonte: Hillel (1982)

O Coeficiente de variação de fabricação é um importante fator que influencia a uniformidade de emissão de água e, conseqüentemente, a eficiência do sistema de irrigação. Existem diversas classificações de emissores quanto à uniformidade de vazão, como as apresentadas por Solomon (1984) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 12:02.08-022/86), apresentadas nas Tabelas 6 e 7 respectivamente.

Tabela 6 – Classificação de emissores quanto à uniformidade de vazão, segundo Solomon (1984)

Classificação	CVF
excelente;	< 3%
média	4 a 7%
marginal	8 a 10%
ruim	11 a 14%
inaceitável	> 15%

Fonte: Solomon (1984)

Tabela 7 – Classificação de emissores quanto à uniformidade de vazão, segundo ABNT (12:02.08-022/86)

Classificação	CVF
boa	< 10%
média	10 a 20%
marginal	20 a 30%
inaceitável	> 30%

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1986)

A ABNT (1986) sugere ao se determinar o coeficiente de variação de fabricação dos emissores, que se utilize uma amostra de no mínimo 50 gotejadores e 20 microaspersores, retiradas aleatoriamente da linha de produção.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Localização do Experimento

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

2.2.2 Descrição da estrutura experimental e funcionamento do sistema

O experimento foi desenvolvido em uma bancada de ensaios, construída em estrutura metálica composta por três andares, com 11,0 m de comprimento, 4,0 m de largura e 5,80 m de altura, sendo cada andar da bancada independente dos demais, permitindo, assim, a realização de ensaios de pesquisa simultâneos. Nas Figuras 1a,b são apresentadas em vista frontal a

distribuição dos módulos da bancada de ensaio e as Figuras 2a,b mostram uma vista interna do pavimento térreo e uma vista lateral dos módulos 1 e 3 da bancada de ensaios, respectivamente.

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 (Figura 3a). 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 $\frac{3}{4}$ ' na entrada de cada nível (Figura 3b). 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.

Figura 1 - Visão frontal da bancada de ensaios de gotejadores: (a) bancada com apenas 1 módulo funcionando e (b) bancada com os quatro módulos funcionando

Figura 2 – (a) Vista interna, do pavimento térreo, da bancada de ensaios e (b) detalhe de montagem da vista lateral dos módulos 1 e 3 da bancada de ensaios

Figura 3 – (a) Linhas gotejadoras inseridas na bancada de ensaio e (b) registros de $\frac{3}{4}$ " utilizados para o controle da entrada de água nos tubos gotejadores

O sistema de pressurização utilizado no experimento foi composto por um conjunto de motobomba centrífuga da marca KSB, modelo KSB Hydrobloc C 750, (Figura 4a), 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 (Figura 4b), com capacidade para $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de vazão, cuja limpeza era feita a cada 12 horas de funcionamento.

Figura 4 – (a) Motobomba centrífuga e (b) filtro de disco, utilizados no sistema de irrigação do experimento

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 de apenas uma solução por vez.

O sistema de aplicação das soluções 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 (forradas 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 (Figura 5a,b), que retornava a solução para a caixa da respectiva captação, através de um conjunto de tubos PVC de 100 mm (Figura 6a,b).

Figura 5 – (a) Conjunto de telhas de aço zincado e (b) calha de zinco revestida com fibra de vidro, utilizadas na captação da solução gotejada

Figura 6 – (a, b) Tubulação de PVC utilizada para retorno da solução à caixa da respectiva captação

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 das novas soluções, reparos e manutenção do sistema.

2.2.3 Descrição do experimento

A pesquisa foi realizada no período de abril de 2007 a março de 2008, onde se realizou dois experimentos (A e B). No experimento A utilizou-se tubos gotejadores novos que foram testados em duas fases (1 e 2). Na fase 1, do experimento A, avaliou-se a susceptibilidade de diferentes tubos gotejadores ao entupimento por ferro solúvel na água de irrigação (óxido de ferro e sulfato ferroso), via duas qualidades de água (com e sem carga orgânica), na fase 2, do experimento A, avaliou-se a susceptibilidade de diferentes tubos gotejadores ao entupimento por aplicação de ferro solúvel na água de irrigação (óxido de ferro, sulfato ferroso e hidróxido de ferro), carga orgânica (fitoplâncton/algas) e sólidos suspensos (solo), com os emissores dos tubos gotejadores posicionados para cima e para baixo.

O experimento B foi realizado em apenas uma única fase, onde se utilizou modelos de tubos gotejadores já usados em outras pesquisas, neste experimento avaliou-se a susceptibilidade de diferentes tubos gotejadores ao entupimento por ferro solúvel na água de irrigação (óxido de

ferro, sulfato ferroso e hidróxido de ferro), carga orgânica (fitoplâncton/algas) e sólidos suspensos (partículas de solo).

As características físicas do solo utilizado na fase 2 do experimento A e no tratamento T6 do experimento B encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Características físicas do solo da área experimental

Granulometria (%)			Classe Textural	Densidade (g.cm ⁻³)	
argila	silte	areia		global	partículas
48,16	17,72	34,12	argilosa	1,45	2,79

As Fases 1 e 2 do experimento A foram realizadas no módulo 2 da bancada de ensaio onde foram montados quatro setores (1, 2, 3 e 4), com o objetivo de otimizar o uso da bancada permitindo que em cada setor fosse aplicado um tratamento diferente, porém nos mesmos modelos de tubos gotejadores, facilitando assim, o desenvolvimento de diversos estudos simultaneamente. Cada setor era composto por 16 tipos diferentes de gotejadores, onde destes, 7 eram convencionais (A, B, C, D, E, F e G) e 9 autocompensantes (H, I, J, K, L, M, N, O e P), totalizando 64 mangueiras em todo o módulo. Nas Figuras 7 e 8 encontram-se a distribuição dos setores das Fase 1 e 2, do experimento A, na bancada de ensaio.

A Fase 1 do experimento A avaliou a susceptibilidade dos tubos gotejadores ao entupimento quando submetidos à aplicação de 6 mg L⁻¹ de ferro solúvel (Fe⁺²) e teve duração de 360 horas de aplicação. Nesta fase utilizou-se, como fonte de ferro, sulfato ferroso e óxido de ferro, aplicados via duas qualidades de água, a saber: água proveniente da estação de tratamento de água da ESALQ/USP (água do LABORATÓRIO - LAB), e água oriunda do lago paisagístico pertencente ao Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP (água do LAGO - LAG) rica em material orgânico do tipo algas verdes (fitoplâncton). Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as análises das águas LAB e LAG, respectivamente.

A combinação do sulfato ferroso com a água LAB e do óxido de ferro com a água LAB, resultou nos tratamentos T1 e T2 aplicados nos setores 1 e 2, respectivamente e teve por objetivo avaliar a susceptibilidade dos gotejadores ao entupimento por ferro solúvel. A combinação do sulfato ferroso com a água LAG e do óxido de ferro com a água LAG, resultou nos tratamentos T3 e T4 aplicados nos setores 3 e 4, respectivamente e avaliou o grau de entupimento por ferro

solúvel e carga orgânica (fitoplânctons), carga esta proveniente da água LAG. Nesta fase (FASE 1) os tratamentos permaneciam 12 horas em aplicação contínua e 36 horas em repouso.

Os tratamentos realizados na fase 1 do experimento A podem ser resumidos da seguinte forma:

1. Tratamento T1 (linhas gotejadoras do setor 1): 6 mg L⁻¹ de Fe⁺² (sulfato ferroso) + água LAB;
2. Tratamento T2 (linhas gotejadoras do setor 2): 6 mg L⁻¹ de Fe⁺² (óxido de ferro) + água LAB;
3. Tratamento T3 (linhas gotejadoras do setor 3): 6 mg L⁻¹ de Fe⁺² (sulfato ferroso) + carga orgânica (água LAG) e
4. Tratamento T4 (linhas gotejadoras do setor 4): 6 mg L⁻¹ de Fe⁺² (óxido de ferro) + carga orgânica (água LAG).

Na Fase 2, do experimento A, 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 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 LAG B e teve duração de 1068 horas de aplicação. Nesta fase (FASE 2), as linhas gotejadoras dos setores 1 (T1) e 2 (T2) tiveram seus orifícios posicionados para baixo e as linhas gotejadoras dos setores 3 (T3) e 4 (T4) tiveram seus orifícios posicionados para cima.

Ainda na fase 2 do experimento A, foi aplicado uma solução concentrada nos tratamentos T1 (emissores posicionados para baixo) e T4 (emissores posicionados para cima), com uma relação de 1:30 (30 vezes a solução do reservatório), diretamente nos tubos gotejadores (Figuras 9a,b), 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 do experimento A podem ser resumidos da seguinte forma:

- 1 Tratamento T1 (linhas gotejadoras do setor 1): $18,8 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe^{+2} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro) + sólidos suspensos (solo - 409 mg L^{-1}) + carga orgânica (água B) + solução concentrada (30 vezes a solução do reservatório), por um período de 5 minutos, com os emissores posicionados para baixo;
- 2 Tratamento T2 (linhas gotejadoras do setor 2): $18,8 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe^{+2} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro) + sólidos suspensos (solo - 409 mg L^{-1}) + carga orgânica (água B), com os emissores posicionados para baixo;
- 3 Tratamento T3 (linhas gotejadoras do setor 3): $18,8 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe^{+2} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro) + sólidos suspensos (solo - 409 mg L^{-1}) + carga orgânica (água B), com os emissores posicionados para cima e
- 4 Tratamento T4 (linhas gotejadoras do setor 4): $18,8 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe^{+2} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro) + sólidos suspensos (solo - 409 mg L^{-1}) + carga orgânica (água B) + solução concentrada (30 vezes a solução do reservatório), por um período de 5 minutos, com os emissores posicionados para cima.

Figura 7 – Distribuição dos blocos na bancada de ensaio, utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento

Figura 8 – Desenho esquemático das linhas gotejadoras na bancada de ensaio, das Fases 1 e 2 do experimento A

Tabela 9 – Análise da água do Laboratório de Irrigação da ESALQ/USP (água A), que foi utilizada na preparação das soluções aplicadas nos tratamentos 1 e 2 da fase 1 do experimento

Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)	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)

Tabela 10 – Análise da água do lago paisagístico pertencente ao departamento de ciências exatas da ESALQ/USP (água B), utilizada na preparação das soluções aplicada nos tratamentos 3 e 4 da fase 1 e da solução da fase dois do experimento

Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)	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	$1,3 \times 10^3$
Coliformes termotolerantes/100mL	mg L ⁻¹	$9,2 \times 10^2$

*Dureza Total calculado com base no equivalente de Carbonato de cálcio (CaCO_3) segundo Franson (1995): $2,497 [\text{Ca}, \text{mg L}^{-1}] + 4,118 [\text{Mg}, \text{mg L}^{-1}]$

Figura 9 – (a) Solução concentrada pronta para ser aplicada nos tubos gotejadores e (b) aplicação da solução concentrada nas tubulações do bloco 1

O experimento B foi realizado no módulo 3 da bancada de ensaio, sendo dividido em dois setores (5 e 6), onde realizou-se os tratamentos T5 e T6, respectivamente e aconteceu simultaneamente a Fase 2 do experimento A, com duração de 648 horas.

Semelhante ao experimento A, teve-se o objetivo de otimizar o uso da bancada de ensaio, permitindo que em cada setor fosse aplicado um tratamento diferente, porém com os mesmos modelos de tubos gotejadores, facilitando assim, o desenvolvimento de diversos estudos simultaneamente. Cada setor, do experimento B, era composto por 26 modelos diferentes de tubos gotejadores, onde destes 9 eram convencionais (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9) e 17 autocompensantes (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26).

No tratamento T5 foi aplicado $20,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro solúvel (Fe^{+2}), tendo o hidróxido de ferro como fonte do mesmo, associado a água LAB, e no tratamento T6 aplicou-se a mesma fonte e o mesmo teor de ferro do tratamento T5, associado a 409 mg L^{-1} de sólidos suspensos (solo) e a carga orgânica (fitoplânctons) proveniente da água LAG. Na Figura 10 é apresentado o desenho esquemático dos setores 5 e 6 utilizados no experimento B.

Os tratamentos realizados no experimento B podem ser resumidos da seguinte forma:

- 1 Tratamento T5 (linhas gotejadoras do setor 5): $20,0 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe^{+2} (hidróxido de ferro) + água LAB e
- 2 Tratamento T6 (linhas gotejadoras do setor 6): $20,0 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe^{+2} (hidróxido de ferro) + sólidos suspensos (solo - 409 mg L^{-1}) + carga orgânica (água LAG).

Figura 10 – Desenho esquemático dos Blocos 5 e 6 utilizados na Fase 3 do experimento

2.2.4 Modelos dos gotejadores amostrados

Nas Fases 1 e 2 do experimento A foram selecionados 16 modelos de gotejadores novos, convencionais (NC) e autocompensantes (AC) existentes no mercado nacional provenientes de diferentes países (Espanha, Israel, EUA e Brasil) .

No experimento B utilizou-se 26 modelos de tubos gotejadores, também existentes no mercado nacional, porém que já haviam sido utilizados em outra pesquisa e cujo o histórico anterior de ensaio segue-se: a avaliação zero (gotejadores novos) até avaliação 1 corresponde à aplicação de águas com dois *índices de Langelier* (ISL): $ISL_0 = -2,268$; $ISL_1 = 0,469$; respectivamente nos Setores 5 e 6, por 12 h + 36 h de descanso, utilizando-se primeiramente $CaCO_3 + MgCO_3$ (240 h) e posteriormente 75% solubilidade de $CaSO_4$ (120 h), totalizando 360 h de aplicação. As avaliações de 2 a 9 correspondem a aplicação de 200 e 300 ppm de K_2CO_3 , sendo que para as avaliações 10 e 11 a concentração deste produto elevou-se para 400 ppm (Setor 5) e tratamento com superfosfato simples inicialmente, na concentração de 50 % da solubilidade, e em seguida 75 e 100 % no Setor 6 (avaliações 2 a 11). As avaliações 12 e 13 correspondem à limpeza das linhas laterais de ambos os blocos com aplicação contínua de HNO_3 a pH 2,0. Somente a partir da 14ª avaliação iniciaram-se os ensaios com água contendo elevado teor de

ferro total para o Setor 5 e água contendo elevado teor de ferro total + carga orgânica (fitoplânctons) + sólidos em suspensão (solo) para o Setor 6.

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 11 apresenta os emissores com suas características técnicas e a vazão mais comercializada pelos irrigantes, ensaiados nas Fases 1 e 2 do experimento A e a Tabela 12 as características dos emissores ensaiados no experimento B.

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 nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Características técnicas: fluxo, vazão, diâmetro nominal ($\emptyset$ N) e espaçamento entre gotejadores dos modelos utilizados no experimento das Fases 1 e 2

Fabricante	Modelo	Fluxo	Vazão (L h ⁻¹)	$\emptyset$ N (m)	Espaçamento entre gotejadores (m)
Netafim	Ram	AC	2,3	16	0,50
	Uniram	AC	1,6	16	0,33
	Dripnet	AC	1,6	16	0,75
	Tiran	NC	2,05	16	0,75
	Super Typhoon	NC	2,0	16	0,60
Toro Ag	Drip In	AC	2,5	17	0,75
Plastro	Hydro PC	AC	2,2	17	0,80
	Hidro Drip	AC	2,0	16	0,80
	Hydrogol	NC	3,0	17	0,40
Naandan	Naan Paz	NC	2,0	16	0,75
Irrimon	Twin Plus	AC	1,8	17,5	1,00
	Vip Line	NC	3,6	16	1,00
	Irriloc	AC	1,1	16,4	0,40
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

Fonte: Catálogo dos fabricantes

Tabela 12 – Características técnicas: fluxo, vazão, diâmetro nominal ($\varnothing$ N) e espaçamento entre gotejadores dos modelos utilizados no experimento da Fase 3

Fabricante	Modelo	Fluxo	Vazão (L h ⁻¹)	$\varnothing$ N (mm)	Espaçamento entre gotejadores (m)
Naandan	Naan tif PC	AC	1,6	16	0,50
	Naan Paz	NC	2,0	16	0,75
	Naan PC	AC	2,1	16	0,80
	Naan PC	AC	3,8	16	0,90
Netafin	Drip Net	AC	1,6	16	0,75
	Uniran	AC	1,6	16	0,33
	Ram	AC	2,3	16	0,50
	Ram	AC	2,3	17	0,50
	Tiran	NC	2,05	16	0,75
	Super Typhoon	NC	2,0	16	0,60
Plastro	Hydrogol	NC	3,0	17	0,40
	Hydro Pc	AC	2,0	17	0,80
	Hydro Pc	AC	2,2	17	0,80
	Hydro Pc	AC	2,2	16/25	0,75
	Hydro Pc Nd	AC	2,35	16/40	0,80
	Hydro Drip	AC	2,0	16	0,80
Amanco	Carbo Drip	AC	2,0	17	0,80
	Carbo Drip Cd/Ac	NC	2,2	16	0,50
Irrimon	Twin Plus	AC	1,8	17,5	1,00
	Vip Line	AC	3,6	16	1,00
	Irridrip Plus	AC	2,5	16	1,00
	Irriloc	NC	1,1	16,4	0,40
Azud	Azudline	NC	1,4	17	0,50
Toro Ag	Drip In	AC	2,5	17	0,75
Petroisa	Petroisa G1	NC	1,5	16	0,30
Queen Gil	Queen Gil	NC	4,0	16,5	0,10

Fonte: Catálogo dos fabricantes

2.2.5 Determinação da vazão, do coeficiente de variação e da uniformidade de distribuição.

Após a montagem do experimento, todo o sistema hidráulico foi colocado em operação por um período de 72 horas antes do início das avaliações, com a finalidade de promover a estabilização de funcionamento dos gotejadores. Durante este período foram selecionados aleatoriamente 10 gotejadores de cada modelo analisado em todos os tratamentos, onde foram identificados com fita adesiva colorida (Figura 11a) para serem monitorados durante todo experimento. Após o período de estabilização do sistema, realizou-se uma leitura de vazão de todos os gotejadores selecionados, a temperatura ambiente de (25 °C) e pressão de 150 kPa no início da linha, com a finalidade de se obter uma caracterização inicial dos gotejadores (vazão de referência) para ser utilizada como base nos cálculos dos parâmetros analisados. Ao se efetuar a

medição de vazão cada gotejador era cuidadosamente observado, no sentido de não haver interferência de vazões provenientes de gotejadores adjacentes e, ou de pontos de conexão.

Iniciado o trabalho de aplicação dos tratamentos, os ensaios de vazão para o monitoramento dos gotejadores eram realizados a cada 72 horas acumuladas de aplicação do respectivo tratamento. A referida vazão foi determinada através do método gravimétrico com o objetivo de se obter maior exatidão do volume coletado de cada emissor, e seus valores expressos em $L\ h^{-1}$. O volume da água, emitido por cada emissor em recipientes de plástico (Figura 11b), durante cinco minutos, foi pesado utilizando-se uma balança de precisão (0,01 g) certificada (Figura 11c).

Figura 11 – (a) gotejadores marcados para leitura de vazões, (b) recipiente de plástico para coleta d'água e (c) balança de precisão

Depois de tabulados os pesos, procederam-se os cálculos da vazão, do coeficiente de variação de fabricação, coeficiente de variação de vazão, uniformidade de distribuição e grau de entupimento através das Equações de 5 a 10.

$$q = \frac{P}{1000\ t\ d} 60 \quad (5)$$

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).

$$\bar{q} = \frac{q_{linha}}{N} \quad (6)$$

em que:

$\bar{q}$ – vazão média do gotejador, L h⁻¹;

q_{linha} – vazão da linha gotejadora, L h⁻¹ e

N – número de emissores na linha.

$$CV_f = \frac{s_{novo}}{\bar{q}_{novo}} 100 \quad (7)$$

em que:

CV_f – coeficiente de variação da fabricação, %;

s_{novo} – desvio padrão da vazão dos gotejadores novos (primeira leitura), L h⁻¹ e

$\bar{q}_{novo}$ – vazão média do gotejador novo, L h⁻¹.

$$CV_q = \frac{s_{usado}}{\bar{q}_{usado}} 100 \quad (8)$$

em que:

CV_q – coeficiente de variação da vazão, %;

s_{usado} – desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h⁻¹; e

$\bar{q}_{usado}$ – vazão média do gotejador usado, L h⁻¹.

$$UD = \frac{q_{25\%}}{\bar{q}_{usado}} 100 \quad (9)$$

em que:

UD – uniformidade de distribuição, % e

$q_{25\%}$ - vazão média de ¼ dos menores valores, L h⁻¹.

$$GE = \left(1 - \frac{\bar{q}_{usado}}{\bar{q}_{novo}} \right) 100 \quad (10)$$

em que:

GE – grau de entupimento, %.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Avaliação do entupimento dos gotejadores convencionais utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A

2.3.1.1 Vazão média dos gotejadores convencionais utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A

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., 1982).

Nas Figuras 12, 13, 14 e 15 encontram-se a vazão média dos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, para os diferentes modelos de gotejadores convencionais das Fases 1 e 2 do experimento A, avaliados no período do ensaio.

Conforme se observa nas Figuras de 12 a 15 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, nestas Figuras, que não houve grande variação nas vazões dos emissores estudados, durante a primeira fase do experimento A e no tratamento T3, durante todo o período analisado (Fases 1 e 2), onde neste tratamento (T3) todos os modelos de emissores mantiveram suas vazões relativas acima de 90% durante todo o período do ensaio.

Na Fase 2 do experimento A (após 360 h) as maiores reduções da vazão dos gotejadores ocorreu nos tratamentos T1 e T4.

Os modelos F e G foram os mais afetados durante o período de ensaio, chegando a uma obstrução total de seus emissores no tratamento T1, a partir de 792 e 1152 horas de funcionamento, respectivamente e a um declínio acentuado de suas vazões nos tratamentos T2 e T4, onde o modelo F a partir de 1296 horas de funcionamento teve redução de vazão de 91 e 62% nos tratamentos T2 e T4, respectivamente e o modelo G reduziu suas vazões em 72% no

tratamento T2 e 81% no tratamento T4, a partir de 1152 e 1296 horas de operação, respectivamente.

Os modelos B e E também apresentaram redução total nas vazões de seus emissores nos tratamentos T1, a partir da hora 1296 e T4, a partir da hora 1368, respectivamente.

Costa (2000), trabalhando com gotejadores de diferentes fabricantes, abastecidos com água contendo teor de ferro de $3,0 \text{ mg L}^{-1}$, 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.

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% nos tratamentos T1, T2 e T3 e acima de 61% no tratamento T4. O modelo A, também apresentou bons resultados, com exceção do tratamento T1 onde teve uma redução de 61% de sua vazão após 1368 horas de funcionamento.

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras de 12 a 15 nas Tabelas dos anexos de A a D são apresentados os valores de vazão média, expresso em L h^{-1} e da vazão, relativa expressa, em percentagem, obtidos pela coleta individual de vazão dos emissores ao longo da linha, nos Tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Nestas tabelas pode-se observar que em alguns modelos de emissores, pequenas oscilações na vazão relativa, que em conformidade com Teixeira (2006) e Leite (1995), 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.

Figura 12 – Vazão média (L h⁻¹) dos gotejadores convencionais no T1 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Figura 13 – Vazão média (L h⁻¹) dos gotejadores convencionais no T2 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T2 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Nas Tabelas 13, 14, 15 e 16 encontram-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias de cada emissor ao longo do tempo, para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Conforme observado nas Tabelas citadas não houve diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para o modelo C, nos tratamentos T1 e T4, para o modelo E no tratamento T3 e o modelo A, no tratamento T4.

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 do tratamento T1, o modelo B do tratamento T2 e os modelos B, F e G do tratamento T4, diferiram estatisticamente entre as primeiras leituras e as últimas leituras, sendo que as leituras intermediárias não diferiram de nenhuma. Os modelos, C do tratamento 2 e D do tratamento T4, apesar de pouco diferirem, apresentam um desempenho desuniforme, aumentando e diminuindo a vazão ao longo das horas.

Os modelos, F do tratamento T1 e E do tratamento T4, apresentam 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.

Os modelos D e G do tratamento T2 mostram grande amplitude entre as leituras iniciais e as leituras finais, variando estatisticamente ao longo do tempo em três estágios, já os modelos A, C e F do tratamento 3, apresentam uma pequena amplitude, apesar de também diferirem em três estágios. O modelo F do tratamento 2, difere em 4 médias, apresenta grande amplitude e se distribui em três blocos distintos: de 0 a 720 h com elevadas vazões, de 792 a 1008 h com vazões intermediárias e de 1080 a 1368 h com baixas vazões.

O modelo G do tratamento T1, 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 do tratamento T1 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.

Os modelos A e E do tratamento T2 e os modelos B, D e G do tratamento T3, apresentam comportamento semelhante, com baixíssima amplitude entre as leituras iniciais e finais e variando sem forma definida ao longo do tempo.

Tabela 13 – Vazão média ($L\ h^{-1}$), dos modelos A, B, C, D, E, F, G, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias a cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

		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
FASE 2	432	2,16b	2,16ef	2,43a	1,89e	1,37b	1,51c	1,24e
	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

Tabela 14 – Vazão média ($L\ h^{-1}$), dos modelos A, B, C, D, E, F, G, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T2 - F1/água LAB/ mg L^{-1} de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

		Modelos						
	Aplicação (h)	A	B	C	D	E	F	G
FASE 1	0	2,12ab	2,13b	2,31ab	1,86bc	1,38abcd	1,44d	1,19c
	72	2,17bcde	2,03ab	2,22a	1,84bc	1,40abcd	1,40cd	1,10bc
	144	2,19bcde	2,15b	2,35b	1,94c	1,42bcd	1,47d	1,14bc
	216	2,16abcd	2,06ab	2,26ab	1,89bc	1,38abcd	1,47d	1,15c
	288	2,17bcde	2,07ab	2,23a	1,87bc	1,39abcd	1,46d	1,14bc
	360	2,17bcde	2,06ab	2,25ab	1,88bc	1,30a	1,37bcd	1,14bc
FASE 2	432	2,20bcde	2,12b	2,27ab	1,91bc	1,31abc	1,38bcd	1,14bc
	504	2,25e	2,10b	2,29ab	1,90bc	1,40abcd	1,50d	1,14bc
	576	2,22cde	2,11b	2,27ab	1,91bc	1,40abcd	1,49d	1,14bc
	648	2,23de	2,14b	2,30ab	1,87bc	1,47d	1,50d	1,15c
	720	2,19bcde	2,09b	2,29ab	1,90bc	1,44cd	1,39bcd	1,11bc
	792	2,20bcde	2,10b	2,28ab	1,90bc	1,41abcd	0,72abc	0,56ab
	864	2,18bcde	2,11b	2,26ab	1,87bc	1,41abcd	0,71abc	0,54ab
	936	2,14abc	2,12b	2,25ab	1,83bc	1,35abc	0,71abc	0,43a
	1008	2,17bcde	2,11b	2,26ab	1,71bc	1,38abcd	0,68ab	0,43a
	1080	2,14abc	2,06ab	2,30ab	1,54abc	1,35abc	0,42a	0,44a
	1152	2,15abcd	2,09b	2,28ab	1,46abc	1,36abcd	0,42a	0,44a
	1224	2,15abcd	2,08ab	2,24ab	1,43abc	1,35abc	0,42a	0,33a
	1296	2,14 abc	1,86ab	2,23a	1,30ab	1,35abc	0,13a	0,33a
	1368	2,08a	1,75a	2,23a	1,05a	1,39abcd	0,13a	0,33a

Tabela 15 – Vazão média ($L\ h^{-1}$), dos modelos A, B, C, D, E, F, G, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 $mg\ L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 $mg\ L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

		Modelos						
Aplicação (h)		A	B	C	D	E	F	G
FASE 1	0	2,17bc	2,04ab	2,32bc	1,85abc	1,47a	1,45ab	1,13abcd
	72	2,14abc	2,08abcd	2,18a	1,84ab	1,43a	1,46ab	1,07a
	144	2,15abc	2,06abc	2,20ab	1,85abc	1,42a	1,50abc	1,08ab
	216	2,14abc	2,11bcd	2,23ab	1,83a	1,37a	1,48abc	1,16cd
	288	2,18bc	2,09abcd	2,32bc	1,90bcdef	1,41a	1,48abc	1,15cd
	360	2,16b	2,10abcd	2,28abc	1,87abcd	1,40a	1,48abc	1,15cd
FASE 2	432	2,21c	2,10abcd	2,31abc	1,88abcde	1,46a	1,58c	1,14bcd
	504	2,21 c	2,14d	2,33bc	1,90bcdef	1,57a	1,49abc	1,17cd
	576	2,21c	2,13c	2,32bc	1,90bcdef	1,51a	1,53abc	1,16cd
	648	2,21c	2,14d	2,36c	1,96fg	1,50a	1,52abc	1,18d
	720	2,12abc	2,05ab	2,30abc	1,94efg	1,44a	1,54bc	1,12abcd
	792	2,15abc	2,05ab	2,30abc	1,93def	1,44a	1,45ab	1,12abcd
	864	2,13abc	2,06abc	2,30abc	1,96fg	1,43a	1,45ab	1,16cd
	936	2,03a	2,03a	2,24abc	2,00g	1,40a	1,44ab	1,11abc
	1008	2,07ab	2,04ab	2,27abc	1,96fg	1,41a	1,45ab	1,11abc
	1080	2,12abc	2,04ab	2,32bc	1,91cdef	1,40a	1,45ab	1,11abc
	1152	2,07ab	2,03a	2,30abc	1,96fg	1,40a	1,45ab	1,11abc
	1224	2,09abc	2,03a	2,28abc	1,90bcdef	1,39a	1,43a	1,16cd
	1296	2,06ab	2,03a	2,22ab	1,86abc	1,38a	1,45ab	1,16cd
	1368	2,06ab	2,03a	2,21ab	1,88abcde	1,43a	1,44ab	1,12abcd

Tabela 16 - Vazão média ($L\ h^{-1}$), dos modelos A, B, C, D, E, F, G, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T4 - F2/água LAG/18,8 $mg\ L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

		Modelos						
Aplicação (h)		A	B	C	D	E	F	G
FASE 1	0	2,15a	2,07b	2,17a	1,85ab	1,39c	1,51b	1,13b
	72	2,11a	1,96ab	2,18a	1,66a	1,28c	1,50b	1,12b
	144	2,11a	2,12b	2,20a	1,89ab	1,28c	1,49b	1,14b
	216	2,13a	2,06b	2,25a	1,82ab	1,33c	1,51b	1,12b
	288	2,14a	2,07b	2,23a	1,83ab	1,38c	1,45b	1,11b
	360	2,14a	2,07b	2,24a	1,83ab	1,35c	1,48b	1,12b
FASE 2	432	2,25a	2,09b	2,35a	1,84ab	1,44c	1,48b	1,13b
	504	2,19a	2,06b	1,86a	1,97b	1,40c	1,50b	1,16b
	576	2,20a	2,08b	1,76a	1,95b	1,41c	1,39ab	1,14b
	648	2,19a	1,84ab	1,86a	1,98b	1,45c	1,31ab	0,61ab
	720	2,18a	1,95ab	1,60a	1,81ab	1,40c	0,89ab	0,65ab
	792	2,16a	2,01ab	1,34a	1,81ab	1,41c	0,98ab	0,35a
	864	1,94a	2,00ab	1,34a	1,81ab	1,36c	1,01ab	0,36a
	936	1,92a	1,97ab	1,34a	1,81ab	1,26c	1,02ab	0,34a
	1008	1,94a	1,97ab	1,34a	1,91b	1,25c	1,00ab	0,36a
	1080	1,94a	2,01ab	1,35a	1,90b	1,26c	0,86ab	0,35a
	1152	1,93a	2,01ab	1,35a	1,92b	1,18c	0,78ab	0,35a
	1224	1,92a	2,01ab	1,36a	1,90b	0,70b	0,67ab	0,34a
	1296	1,91a	1,92ab	1,34a	1,85ab	0,13a	0,58a	0,22a
	1368	1,90a	1,58a	1,32a	1,86ab	0,00a	0,58a	0,22a

2.3.1.2 Uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação (CV) de vazão dos gotejadores convencionais utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A.

Nas Figuras 16, 17, 18 e 19 encontram-se a uniformidade de distribuição (UD) dos gotejadores utilizados durante todo o período do ensaio, nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

Conforme se observa nas Figuras de 16 a 19, todos os modelos de tubos gotejadores ensaiados apresentaram uniformidade de distribuição de água (UD) superior a 90%, durante a primeira fase do experimento A (até 360h), em todos os tratamentos (T1, T2, T3 e T4) podendo ser classificados como excelente, segundo Meriam e Keller (1978). As maiores reduções de uniformidade de distribuição ocorreram na segunda fase do experimento, principalmente nos tratamentos T1 e T4, onde no tratamento T1, a partir de 720 horas de funcionamento, todos os emissores avaliados apresentaram UD inferiores a 70%, sendo considerados ruins de acordo com a classificação de Meriam e Keller (1978).

No tratamento T1 os modelos A, B, D, E, F e G chegaram a apresentar valores nulos de UD nas horas 1080; 648; 792; 1368, 648 e 720, respectivamente. No Tratamento T2, apenas os modelos B, D e G reduziram sua UD a valores classificados como ruins.

No tratamento T3, todos os emissores mantiveram uma uniformidade de distribuição superior a 80% e no tratamento T4 os modelos C, E, F e G apresentaram valores nulos de UD, nas horas 720, 1368, 1224 e 648, respectivamente, o modelo D apresentou valor de UD igual a 34,03% a partir de 1368 horas de funcionamento e os demais modelos mantiveram seus valores de UD acima de 70% durante todo o experimento.

Figura 16 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T1 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Figura 17 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T2 - F1/água LAB/ mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T2 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Figura 18 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Figura 19 – Vazão média (L h⁻¹) dos gotejadores convencionais no T4 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T4 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Nas Figuras 20, 21, 22 e 23 encontram-se o coeficiente de variação (CV), no período do ensaio, para os modelos de gotejadores avaliados.

O coeficiente de variação de vazão (CV), determinado pelo desvio-padrão dos valores de vazão da amostra, em relação à vazão média, representa uma medida de dispersão relativa dos dados, e quando aplicado em uma amostra de emissores novos, é definido como o coeficiente de variação de fabricação, o qual representa pequenas diferenças construtivas de cada emissor (SOLOMON, 1979).

Conforme as Figuras de 20 a 23 todos os emissores avaliados apresentaram coeficiente de variação inicial de vazão ($0h$) $< 5\%$, sendo, portanto, considerados bons de acordo com a classificação da ABNT (1986), onde o de CV inferior a 10% tem uniformidade boa; de 10 a 20% é média; de 20 a 30% é marginal e superior a 30% é inaceitável.

Dada à pequena magnitude de fatores causadores de desuniformidade (perdas de carga, declividade e diferencial de temperatura da água), uma vez determinado o valor do CV no início do ensaio, as diferenças encontradas, nas demais épocas de amostragem estarão relacionadas ao processo de entupimento dos emissores (RESENDE, 1999).

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras de 16 a 23 nas Tabelas dos anexos E a H são apresentados os valores de uniformidade de distribuição (UD), expresso em percentagem e do Coeficiente de variação (CV), expressa, em percentagem, nos Tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

Nas Tabelas dos anexos E a H, observa-se que durante a primeira fase do experimento todos os modelos de tubos gotejadores mantiveram seus valores de CV inferiores a 10% e observando as Tabelas dos anexos de A a D, não houve alteração significativa na vazão relativa dos emissores estudados durante a primeira fase do experimento. No entanto, na Fase 2 do experimento A, apenas o tratamento T3 apresentou todos os modelos de tubos gotejadores com valores de CV dentro do aceitável de acordo com as normas da ABNT (1986). O tratamento T1 teve em todos os modelos de tubos gotejadores avaliados valores de CV inaceitáveis, no tratamento T2 somente os modelos B, D e G apresentaram valores de CV inaceitáveis e no tratamento T4 apenas o modelo D manteve seu valor de CV considerado aceitável conforme normas da ABNT (1986), ao longo do ensaio. Observa-se, também, que na Fase 2 do experimento A os valores de CV apresentaram tendência de crescimento, ao longo do período de

ensaio, principalmente nos tratamentos T1, T2 e T4, tendo sido mais pronunciado no modelo G cujo CV variou de 4,67 a 316,23%; de 3,88 a 161,10% e de 4,15 a 210% nos tratamentos T1, T2 e T4, respectivamente.

Resende (1999), analisando obstruções de 5 modelos de tubos gotejadores, observou que o gotejador Tiran, embora apresentando os maiores valores de redução de vazão média, alcançando até 32% no período avaliado, apresentou o melhor desempenho com respeito ao CV, até o tempo de operação de 1680 horas, cerca de 7,87%, indicando que a redução de vazão se deu uniformemente para todos os emissores na linha lateral.

Mélo (2007), trabalhando com dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e plâncton, encontrou valores de CV superiores a 800% em alguns modelos de tubos gotejadores convencionais.

Figura 20 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Figura 21 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T2 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Figura 22 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Figura 23 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T4 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

2.3.1.3 Distribuição do entupimento dos gotejadores convencionais utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A

A ocorrência do entupimento em emissores pode se dar em três situações: no orifício de entrada, no caminho percorrido pela água dentro do emissor e no orifício de saída.

Nas Figuras 24 a 30 encontram-se a distribuição percentual do número de emissores para diferentes faixas de redução de vazão e o tempo de operação do sistema avaliado, dos emissores convencionais utilizados nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, nas fases 1 e 2 do experimento A. O percentual de emissores entupidos refere-se ao total de cada modelo, ou seja, 10 gotejadores.

Observando as Figuras de 24 a 30 nota-se que durante a primeira fase do experimento, de 0 a 360 horas de funcionamento, apenas os emissores dos modelos B, D e E apresentaram uma redução de vazão. No entanto a redução de vazão dos modelos B e D foi apenas no tratamento T4 e em 10% de seus emissores, já o modelo E teve uma variação maior, chegando a uma redução 10% de vazão em 10%, de seus emissores no tratamento T2 e em 20% de seus emissores nos tratamentos T3 e T4, na hora 360.

Os tratamentos T1 e T4, a partir da segunda fase do experimento, foram os mais severos, causando uma maior variação de entupimento nos emissores estudados, aonde ao final de 1368 horas de funcionamento, pelo menos 10% dos emissores chegaram a 100% de obstrução em todos os modelos, para o tratamento T1 e para o tratamento T4, com exceção do modelo D que não sofreu redução total de vazão no tratamento T4.

Os modelos A e C foram os que apresentaram um melhor desempenho durante todo o experimento. Estes modelos mantiveram suas vazões médias constante para os tratamentos T2 e T3 durante todo o ensaio. No tratamento T1 o modelo A manteve 40% dos seus emissores com vazão média constante e o modelo C apenas 20% de seus emissores sofreram redução, onde destes somente 10% apresentou 100% de obstrução. No tratamento T3 o número de gotejadores que sofreram algum percentual de entupimento foi de 10% no modelo A e 40% no modelo C.

O maior percentual de emissores com redução de vazão foi alcançado pelos modelos E e G, com aumento gradativo do entupimento, ao longo do experimento, onde ao final do ensaio o modelo E apresentou uma redução total de vazão em 100%, 90% e 70% de seus emissores, nos tratamentos T1, T2 e T4, respectivamente e o modelo G apresentou redução total de vazão em 100%, 70% e 80% de seus emissores, nos tratamentos T1, T2 e T4, respectivamente

Figura 24 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo A, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 25 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo B, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 26 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo C, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 27 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo D, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 28 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo E, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 29 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo F, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 30 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo G, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

2.3.2 Avaliação do entupimento dos gotejadores autocompensantes utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A

2.3.2.1 Vazão média dos gotejadores autocompensantes utilizados nas Fases 1 e 2 do experimento A

Nas Figuras 31, 32, 33 e 34 encontram-se a vazão média dos Tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, para os diferentes modelos de gotejadores autocompensantes das Fases 1 e 2 do experimento A, avaliados no período do ensaio.

Conforme as Figuras de 31 a 34, observa-se que alguns emissores tiveram aumento de vazão por um determinado período, retratando, assim, um fase inicial do entupimento com aumento de vazão, concordando com Teixeira (2006) e Coelho (2007). Problemas de desuniformidade de vazão também estão relacionados ao aumento da vazão nominal do gotejador, devido à deposição de materiais na membrana flexível dos gotejadores autocompensantes, assim como pela deterioração da mesma (GILBERT et al., 1981).

Semelhante com o que aconteceu aos modelos de gotejadores convencionas ensaiados no experimento A, a Fase 2 (após 360 h) foi a que apresentou maior redução de vazão por parte dos emissores, onde nesta fase houve expressivas reduções de vazão nos tratamentos T1, T2 e T4, sendo que o tratamento T1 foi o que apresentou um maior número de modelos com redução total de vazão em conformidade com Ribeiro (2008) onde observou que, em geral, os gotejadores são mais suscetíveis ao entupimento, quando o orifício do emissor está posicionado para baixo, juntamente com partículas em suspensão no interior dos tubos. O tratamento T3, com exceção do modelo O, manteve a vazão de seus emissores praticamente constante durante todo o período estudado.

No tratamento T1, conforme a Figura 31, somente o modelo L manteve sua vazão praticamente constante durante todo o período de ensaio, permanecendo com 94% de vazão relativa. Os modelos O e P foram os que pior se comportaram, reduzindo suas vazões de forma gradativa, logo após o início da segunda fase, chegando a uma redução total de vazão ao final de 1152 e 1368 horas de funcionamento, respectivamente. Os modelos J e M, também não apresentaram bons resultados no tratamento T1, pois tiveram suas vazões reduzidas em 96 e 91%, respectivamente, ao final do experimento.

No tratamento T2, conforme a Figura 32, o modelo P foi o q apresentou o pior resultado, onde a partir de 720 horas de funcionamento apresentou uma redução gradativa de vazão chegando ao total entupimento de seus emissores 1152 horas de funcionamento. Os modelos H, M e O apresentaram reduções de vazões superiores a 30%.

No tratamento T3, apenas o modelo O apresentou redução expressiva de vazão, chegando a uma redução de vazão de 47%, os demais modelos de gotejadores demonstraram bons resultados, pois mantiveram suas vazões relativas superiores a 80%.

Conforme a Figura 34, no Tratamento 4, somente os modelos I, J, L e N demonstraram bons resultados com redução de vazão inferior a 20 %. Os modelos H e K apresentaram uma redução de vazão de 75 e 38%, respectivamente e os modelos M, O e P, foram o q tiveram os piores resultados, com redução de 96, 91 e 100% de vazão, respectivamente.

Costa (2000) trabalhando com gotejadores de cinco diferentes fabricantes, abastecidos com água contendo teor de ferro de $3,0 \text{ mg L}^{-1}$, observou após 200 horas de funcionamento, redução de vazão variando de 34 a 87%.

Sagi, Paz e Ravina (1995) encontraram reduções de até 38%, em relação à vazão inicial, causadas por mucilagem do protozoário *Epystilys balanarum*, com reduções de até 57% na área de passagem de água do emissor. Nakayama, Bucks e French (1977) observaram reduções de vazão de 25% a 50% causadas principalmente por mucilagem de bactéria, não identificada pelos autores, em gotejadores com 2 anos de funcionamento.

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras de 31 a 34 as Tabelas dos anexos I a L, apresentam os valores de vazão média, expresso em L h^{-1} e da vazão relativa, expressa em percentagem, obtidos pela coleta individual de vazão dos emissores autocompensantes, ao longo da linha, nos Tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

Figura 33 – Vazão média (L h⁻¹) dos gotejadores autocompensantes no T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Figura 34 – Vazão média (L h⁻¹) dos gotejadores autocompensantes no T4 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T4 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Nas Tabelas 17, 18, 19 e 20 encontram-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias de cada emissor ao longo do tempo, para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Conforme se observa nas Tabelas de 17 a 20, de acordo com o Teste de Tukey, os modelos H, J e N do tratamento T2, o modelo M do tratamento 3 e o modelo J do tratamento T4, não diferiram entre si.

Os modelos K e P do tratamento T1 e o modelo O do tratamento T4, diferiram estatisticamente entre as primeiras leituras e as últimas leituras, não havendo leituras intermediárias entre os dois blocos de médias semelhantes.

Os modelos H e I do tratamento T1, o modelo M do tratamento T2, os modelos H, J, K e N do tratamento T3 e os modelos H e I do tratamento T4, diferiram estatisticamente entre as primeiras leituras e as últimas leituras, sendo que as leituras intermediárias não diferiram de nenhuma. Os modelos L e N do tratamento T1, os modelos I, L e O do tratamento T2 e os modelos L e N do tratamento T4, apresentam um desempenho desuniforme, aumentando e diminuindo a vazão ao longo das horas.

Os modelos, M do tratamento T1 e K do tratamento T2, apresentam 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 720 h e de 792 a 1368 h para o primeiro caso e de 0 a 1008 h, de 1080 a 1224 h e de 1296 a 1368 h para o segundo caso.

O modelo O do tratamento T3 mostra grande amplitude entre as leituras iniciais e as leituras finais, variando estatisticamente ao longo do tempo em três estágios, já os modelos I e P do tratamento T3, apresentam uma pequena amplitude, apesar de também diferirem em três estágios.

O modelo J do tratamento T1 mostra grande amplitude entre as leituras iniciais e as leituras finais, variando estatisticamente ao longo do tempo em quatro estágios, já o modelo L do tratamento 3, apresenta uma pequena amplitude, apesar de também diferir em quatro estágios.

Os modelos O do tratamento T1, P do tratamento T2 e K do tratamento T4, diferem em 5 médias, apresentam grande amplitude, sendo que os dois primeiros adquirem vazão igual a zero a partir das 1368 h e 1224 h, respectivamente.

Os modelos M e P do tratamento T4 apresentam grande amplitude entre as médias, sendo que o modelo M a partir das 1296 h tem vazão zero, diferem muito entre as leituras e tem um desempenho decrescente ao longo do tempo.

Tabela 17 – Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos H, I, J, K, L, M, N, O, P e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

		Modelos								
Aplicação (h)		H	I	J	K	L	M	N	O	P
FASE 1	0	2,01ab	1,49ab	1,72d	2,66b	1,98abc	2,03c	1,68bcd	3,47e	1,98b
	72	2,08ab	1,39ab	1,72d	2,59b	1,93ab	1,97c	1,76bcd	3,23de	1,80b
	144	2,13ab	1,40ab	1,68d	2,61b	2,01abc	1,89c	1,80bcd	3,26de	1,85b
	216	2,10ab	1,50ab	1,63cd	2,63b	1,98abc	1,90c	1,88d	3,25de	1,88b
	288	2,09ab	1,49ab	1,63cd	2,64b	2,06abc	1,92c	1,82ab	3,23de	2,02b
	360	2,10ab	1,49ab	1,63cd	2,63b	2,02abc	1,91c	1,85abc	3,24de	1,95b
FASE 2	432	2,15ab	1,56b	1,67d	2,65b	2,18c	1,94c	1,79bcd	3,44e	2,04b
	504	2,39b	1,53ab	1,67d	2,76b	2,12bc	1,51bc	1,77bcd	3,22de	1,63b
	576	2,28b	1,52ab	1,65cd	2,72b	2,12bc	1,14abc	1,75bcd	2,91de	1,31b
	648	2,26b	1,54b	1,16bcd	2,56b	2,08abc	1,02abc	1,74bcd	2,83de	1,31b
	720	1,98ab	1,54b	1,32cd	2,40b	2,05abc	0,93abc	1,68bcd	2,43cde	0,36a
	792	1,72ab	1,54b	1,36cd	2,39b	2,05abc	0,55ab	1,30abcd	2,42cde	0,21a
	864	1,56ab	1,48ab	1,02bc	2,44b	2,06abc	0,50ab	1,13abcd	1,78bcd	0,21a
	936	1,22ab	1,34ab	0,56ab	2,35b	2,08abc	0,39ab	0,95abcd	1,04abc	0,21a
	1008	1,27ab	1,25ab	0,53ab	2,35b	2,06abc	0,40ab	0,95abcd	1,20abc	0,06a
	1080	1,29ab	1,17ab	0,27a	2,15b	2,00abc	0,40ab	0,85d	1,09abc	0,06a
	1152	1,25ab	1,11ab	0,19a	0,73a	2,03abc	0,38ab	0,89abcd	1,07abc	0,00a
	1224	1,26ab	1,10ab	0,13a	0,65a	1,96ab	0,38ab	0,82cd	0,60ab	0,00a
	1296	1,21ab	1,1ab	0,06a	0,55a	1,94ab	0,38ab	1,09abcd	0,17a	0,00a
	1368	0,94a	1,06a	0,06a	0,47a	1,87a	0,18a	0,54a	0,00a	0,00a

Tabela 18 – Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos H, I, J, K, L, M, N, O, P e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T2 - F1/água LAB/ mg L^{-1} de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

		Modelos								
Aplicação (h)		H	I	J	K	L	M	N	O	P
FASE 1	0	2,01a	1,52bcde	1,68a	2,62c	2,05c	2,05b	1,94a	3,46c	2,05e
	72	2,03a	1,48abcde	1,76a	2,55c	1,89abc	1,94ab	1,97a	3,50c	1,77cde
	144	2,02a	1,52bcde	1,71a	2,62c	1,97bc	1,95ab	2,05a	3,10abc	1,73cde
	216	2,01a	1,51bcde	1,63a	2,56c	2,02bc	1,95ab	1,96a	2,95abc	1,83cde
	288	2,08a	1,52bcde	1,62a	2,58c	1,96bc	1,94ab	1,90a	3,13abc	1,89e
	360	2,05a	1,42a	1,65a	2,57c	1,99bc	1,95ab	1,81a	3,04abc	1,86de
FASE 2	432	2,07a	1,56e	1,74a	2,57c	1,91abc	2,02b	1,82a	3,20bc	1,83cde
	504	2,03a	1,54cde	1,67a	2,59c	1,98bc	1,93ab	1,88a	3,02abc	1,73cde
	576	2,05a	1,55de	1,67a	2,58c	1,95bc	1,98ab	1,91a	2,91abc	1,73cde
	648	2,05a	1,51bcde	1,67a	2,54bc	1,96bc	2,04b	1,78a	2,80abc	1,69cde
	720	2,15a	1,51bcde	1,74a	2,57c	2,02bc	2,03b	1,74a	2,94abc	1,71cde
	792	2,14a	1,47abcd	1,68a	2,53bc	2,02bc	1,47ab	1,79a	2,92abc	1,20bc
	864	2,12a	1,4abcde8	1,68a	2,55c	1,98bc	1,34ab	1,82a	2,94abc	1,22bcd
	936	2,12a	1,46abc	1,64a	2,52bc	1,98bc	0,94a	1,86a	3,04abc	1,09b
	1008	1,82a	1,47abcd	1,67a	2,54bc	1,98bc	1,14ab	1,83a	2,98abc	1,02b
	1080	2,12a	1,46abc	1,71a	2,32abc	1,83abc	1,18ab	1,85a	2,90abc	0,23a
	1152	1,36a	1,46abc	1,67a	2,27abc	1,85abc	1,17ab	1,84a	2,97abc	0,14a
	1224	1,28a	1,45ab	1,73a	2,16abc	1,86abc	1,18ab	1,72a	2,15a	0,00a
	1296	1,32a	1,47abcd	1,76a	1,99ab	1,67a	1,17ab	1,69a	2,63abc	0,00a
	1368	1,35a	1,47abcd	1,71a	1,86a	1,79ab	1,15ab	1,69a	2,24ab	0,00a

Tabela 19 – Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos H, I, J, K, L, M, N, O, P e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

		Modelos								
Aplicação (h)		H	I	J	K	L	M	N	O	P
FASE 1	0	1,99a	1,45ab	1,71b	2,69b	1,99bcd	2,00a	1,72ab	3,56c	2,02c
	72	2,06a	1,47abc	1,70ab	2,53ab	1,94abcd	2,00a	1,74ab	3,39c	1,91abc
	144	2,04a	1,48abc	1,59ab	2,53ab	1,97abcd	2,06a	1,74ab	3,39c	1,90abc
	216	2,06a	1,53abc	1,64ab	2,57ab	1,97abcd	2,00a	1,75ab	3,39c	1,95abc
	288	2,10ab	1,55bc	1,66ab	2,71b	2,02cd	2,00a	1,77ab	3,38c	1,97abc
	360	2,08a	1,54bc	1,65ab	2,64b	2,00bcd	2,02a	1,76ab	3,38c	1,96abc
FASE 2	432	2,00a	1,57c	1,62ab	2,72b	2,05d	2,14a	1,74ab	3,27c	1,99bc
	504	2,12ab	1,56c	1,60ab	2,63b	2,04d	2,02a	1,67a	3,29c	2,00bc
	576	2,13ab	1,56c	1,61ab	2,63b	2,04d	2,06a	1,70ab	3,28c	1,99bc
	648	2,32b	1,54bc	1,84c	2,59ab	2,04d	2,05a	1,78ab	2,96bc	2,02c
	720	2,14ab	1,53abc	1,66ab	2,60ab	1,97abcd	2,01a	1,76ab	2,81abc	1,91abc
	792	2,11ab	1,50abc	1,69ab	2,65b	2,03d	1,97a	1,82b	3,13bc	1,93abc
	864	2,14ab	1,50abc	1,65ab	2,58ab	1,96abcd	1,99a	1,79ab	2,97bc	1,85abc
	936	2,16ab	1,51abc	1,59ab	2,50ab	1,91abcd	1,96a	1,79ab	2,98bc	1,70ab
	1008	2,02a	1,51abc	1,62ab	2,61ab	1,91abcd	1,97a	1,78ab	2,94bc	1,83abc
	1080	2,0a	1,49abc	1,58a	2,55ab	1,92abcd	2,01a	1,76ab	3,00bc	1,91abc
	1152	2,07a	1,49abc	1,58a	2,47ab	1,90abcd	1,99a	1,74ab	2,97bc	1,81abc
	1224	2,06a	1,45ab	1,62ab	2,47ab	1,88abc	1,98a	1,72ab	2,40abc	1,81abc
	1296	2,10ab	1,45ab	1,58a	2,51ab	1,84a	2,02a	1,72ab	2,15ab	1,85abc
	1368	2,09ab	1,43a	1,62ab	2,23a	1,86ab	2,00a	1,72ab	1,89a	1,68a

Tabela 20 - Vazão média ($L h^{-1}$), dos modelos H, I, J, K, L, M, N, O, P, e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias para cada emissor ao longo do tempo, no Tratamento T4 - F2/água LAG/18,8 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

		Modelos								
Aplicação (h)		H	I	J	K	L	M	N	O	P
FASE 1	0	2,10b	1,55ab	1,73a	2,71e	1,92bc	2,10g	1,73abcd	3,32b	2,08ef
	72	2,19b	1,49a	1,70a	2,51cde	1,91bc	2,13g	1,78abcd	3,33b	1,93cdef
	144	2,23b	1,54ab	1,63a	2,48bcde	1,90abc	2,09fg	1,81bcd	3,46b	1,97def
	216	2,06b	1,53ab	1,75a	2,57abcd	1,96c	2,03efg	1,85d	3,35b	1,89bcdef
	288	2,17b	1,52ab	1,64a	2,63de	1,96c	2,03efg	1,82cd	3,35b	2,08ef
	360	2,12b	1,52ab	1,70a	2,60cde	1,99c	2,03efg	1,84d	3,35b	1,99def
FASE 2	432	2,18b	1,58ab	1,63a	2,65de	2,00c	2,06efg	1,87d	3,25b	2,13f
	504	2,18b	1,55ab	1,65a	2,66de	1,94bc	2,00efg	1,68abc	2,91b	1,91cdef
	576	2,06b	1,55ab	1,63a	2,63de	1,95bc	1,91efg	1,75abcd	2,54b	1,66bcdef
	648	2,02ab	1,65b	1,63a	1,57cde	1,86abc	1,90efg	1,76abcd	0,95a	1,61bcdef
	720	1,64ab	1,52ab	1,63a	2,12bcde	1,90abc	1,65defg	1,79bcd	0,20a	1,22abcdef
	792	1,72ab	1,53ab	1,64a	2,00bcde	1,88abc	1,46cdefg	1,78abcd	0,25a	0,96abcde
	864	1,53ab	1,51a	1,63a	1,89bcde	1,91bc	1,42cdefg	1,77abcd	0,25a	0,91abcd
	936	1,46ab	1,51a	1,61a	1,49abc	1,94bc	1,23cdef	1,75abcd	0,28a	0,80abc
	1008	1,40ab	1,47a	1,64a	1,32ab	1,93bc	1,20cde	1,75abcd	0,27a	0,79abc
	1080	1,36ab	1,47a	1,76a	1,24ab	1,90abc	1,03bcd	1,72abcd	0,23a	0,81abc
	1152	1,27ab	1,47a	1,56a	1,21ab	1,90abc	0,63abcd	1,73abcd	0,22a	0,80abc
	1224	1,21ab	1,46a	1,48a	1,24ab	1,80abc	0,18ab	1,68abc	0,22a	0,79abc
	1296	1,08ab	1,46a	1,76a	0,67a	1,63ab	0,00a	1,66ab	0,19a	0,75ab
	1368	0,79a	1,45a	1,52a	0,67a	1,58a	0,00a	1,63a	0,14a	0,18a

2.3.2.2 Uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação (CV) de vazão dos gotejadores autocompensantes utilizados nas fases 1 e 2 do experimento A

Nas Figuras 35, 36, 37 e 38 encontra-se a uniformidade de distribuição (UD) dos gotejadores autocompensantes utilizados durante todo o período do ensaio, nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, nas fases 1 e 2 do experimento A, respectivamente.

De acordo com as Figuras de 35 a 38, com exceção dos modelos M, com 84,9% de UD, N, com 86,9% de UD, O com 88,9% de UD e P, com 86,3% de UD, dos tratamentos T1, T2 e T4, respectivamente, a uniformidade de distribuição (UD) dos gotejadores novos (0h) e após o final da fase 1 (360h), do experimento A, apresentaram valores superiores a 90% podendo ser classificados como excelente, segundo Meriam e Keller (1978).

As maiores reduções de uniformidade de distribuição ocorreram na segunda fase do experimento A, onde no tratamento T1 os modelos H, J, M, N, O e P, apresentaram valores de UD igual à zero, a partir das horas 936, 936, 576, 936, 864 e 648, respectivamente, ainda no tratamento T1, apenas o modelo L manteve sua UD constante e superior a 90% após o final do experimento (1368h). No tratamento T2 os modelos H, M e P apresentaram valores de UD iguais a zero, a partir das horas 1152, 936 e 792, respectivamente, já os modelos I, J e N mantiveram sua UD acima de 90% mesmo após 1368 horas de funcionamento, ou seja, no final do ensaio.

O tratamento T3 foi o que apresentou melhores valores de uniformidade de distribuição (UD), onde apenas o modelo H obteve valor zero após 864 horas de funcionamento e os modelos I, J, L e M mantiveram seus valores de UD superiores a 90%, após o final do experimento.

Figura 35 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T1 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Figura 36 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T2 - F1/água LAB/ mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T2 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Figura 37 – Uniformidade de Distribuição (%) dos gotejadores convencionais no T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Figura 38 – Vazão média (L h⁻¹) dos gotejadores convencionais no T4 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T4 - F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Nas Figuras 39, 40, 41 e 42 encontram-se o coeficiente de variação (CV), no período do ensaio, para os modelos de gotejadores autocompensantes avaliados durante todo o período do ensaio, nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, nas fases 1 e 2 do experimento A, respectivamente.

Conforme as Figuras de 39 a 42 todos os emissores avaliados apresentaram coeficiente de variação inicial de vazão (0h) < 10 %, sendo, portanto, considerados bons de acordo com a classificação da ABNT (1986).

As maiores variações do coeficiente de variação (CV) dos gotejadores autocompensantes, ocorreram na fase 2 do experimento A, principalmente no tratamento T1. O modelo P foi o que apresentou uma maior variação de CV em todos os tratamentos, variando de 6,9 a 316,2%, no tratamento T1, de 3,9 a 316,2%, no tratamento T2, de 2,5 a 22% no tratamento T3 e 4,7 a 316,2 no tratamento T4.

Teixeira (2006), trabalhando com efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes observou que em alguns modelos de tubos gotejadores autocompensantes houve uma tendência de acréscimo nos valores de CV ao longo do experimento, aonde chegaram a um aumento de 185% e de 220% no valor de CV em relação ao CV inicial.

Figura 39 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores autocompensantes avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Figura 40 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T2 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Figura 41 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Figura 42 – Coeficiente de variação de vazão (%) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T4 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras de 39 a 42 as Tabelas dos anexos M a P, apresentam os valores de uniformidade de distribuição (UD), expresso em percentagem e do Coeficiente de variação (CV), expressa, em percentagem, nos Tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

2.3.2.3 Distribuição do entupimento dos emissores autocompensantes utilizados nas fases 1 e 2 do experimento A

Nos gotejadores autocompensantes, a ocorrência de entupimento, entre outros fatores, pode ser devido a danos químicos causados à estrutura da membrana de compensação, ocorrendo um aumento de volume da membrana reduzindo, assim, a passagem da água no orifício de saída.

Nas Figuras de 43 a 51 encontram-se a distribuição percentual do número de emissores para diferentes faixas de redução de vazão e o tempo de operação do sistema avaliado, dos emissores convencionais utilizados nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, nas fases 1 e 2 do

experimento A. O percentual de emissores entupidos refere-se ao total de cada modelo, ou seja, 10 gotejadores.

Conforme são apresentados nas as Figuras de 43 a 51, os modelos H, I, K e P não apresentaram redução de vazão durante a Fase 1 (0 a 360h) do experimento A, para todos os tratamentos realizados. Os modelos J, L e M apresentaram um padrão de distribuição do nível de entupimento não superou a 20% do total de gotejadores com redução de vazão na faixa de apenas 10% e somente nos tratamentos T1 e T2.

O modelo N apresentou redução de vazão a partir de zero hora de funcionamento, devido a 1 dos 10 emissores selecionados, ter apresentado vazão bem superior dos demais emissores ($3,30 \text{ L h}^{-1}$), alterando, assim, a vazão média dos emissores, entretanto com a continuidade do ensaio, a partir de 1224 horas de funcionamento, houve um entupimento deste emissor, reduzindo sua vazão a um valor próximo dos demais.

Os modelos O e P foram os que apresentaram maior variação no percentual de entupimento dos seus emissores durante a Fase 1 do experimento A, onde ao final de 360 horas de funcionamento o modelo O apresentou redução de vazão em todos os tratamentos, a saber: 10% de obstrução em 20% de seus emissores, nos tratamentos T1 e T4, 10% de obstrução em 50% de seus emissores no tratamento T2 e 10% de entupimento em 10% de seus emissores no tratamento T3, já o modelo P, ao final de 360 horas de funcionamento apresentou 20, 10, 10 e 20% de redução de vazão em 10, 10, 30 e 10% dos emissores nos tratamentos T1, T2, T3 e T4 respectivamente.

A Fase 2 do experimento A foi a que apresentou maior variação de redução de vazão por parte dos emissores estudados em todos os tratamentos realizados, de tal forma que ao final de 1368 horas de funcionamento (fim da fase 2) pelo menos 10% de todos os emissores estudados apresentaram no mínimo 10% de redução de vazão em todos os tratamentos realizados.

Ainda na Fase 2 do experimento A, observou-se que os tratamentos T1 e T4 foram os que apresentaram um maior número de emissores obstruídos. Onde no tratamento T1, com exceção dos modelos L e M todos os demais modelos tiveram pelo menos 10% de seus emissores totalmente obstruídos até o final do experimento (1368 h), sendo que destes, os modelos P e O apresentaram 100% de seus emissores totalmente obstruídos a partir de 1224 e 1368 horas de

funcionamento, respectivamente, no tratamento T1. No tratamento T4, com exceção dos emissores do modelo I, houve 100% de obstrução em pelo menos 10% dos emissores estudados.

O maior percentual de emissores com entupimento total foi observado para o modelo P, que a partir da hora 1224 apresentou 100% de seus emissores totalmente obstruídos nos tratamentos T1 e T2. Já os modelos I, L e M foram os que detiveram o menor percentual de seus emissores totalmente obstruídos, onde apenas 10% destes sofreram redução de 100% de vazão.

Teixeira (2006) obteve modelos de tubos gotejadores autocompensantes com 100% de seus emissores totalmente obstruídos após 1512 horas de funcionamento.

Resende (1999), afirma que o modelo Ram apresentou um bom desempenho quanto à distribuição de entupimento tendo 90% do total de seus emissores sem redução de vazão e os 10% restantes, reduções entre 10% e 20% de vazão, até 480 horas de funcionamento, no entanto a partir deste tempo de iniciou um processo gradativo de entupimento parcial, causando redução de vazão de 10% e 20% em 56% e 24%, respectivamente, dos emissores deste modelo, no tempo de funcionamento de 1200 horas.

Figura 43 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo H, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 44 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo I, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 45 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo J, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 46 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo K, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 47 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo L, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 48 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo M, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 49 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo N, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 50 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo O, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

Figura 51 – Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo P, nos tratamentos: T1/F1; T1/F2; T2/F1; T2/F2; T3/F1; T3/F2; T4/F1 e T4/F2

2.3.3 Avaliação do entupimento dos gotejadores utilizados no experimento B

2.3.3.1 Tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB do experimento B

Nas Figuras 52, 53, 54 e 55 encontram-se os valores de vazão relativa (%) para os emissores avaliados no tratamento T5 do experimento B. É importante lembrar que os emissores ensaiados no tratamento T5 já haviam sido avaliados em outros experimentos, de modo que, a vazão inicial utilizada para obtenção da vazão relativa não foi a dos gotejadores novos e sim a vazão obtida na primeira leitura após o tratamento de desobstrução dos emissores.

Conforme as Figuras de 52 a 55 os emissores avaliados apresentaram comportamento diferenciado quanto à redução de vazão, em função do entupimento. Na Figura 52 observou-se que os gotejadores dos modelos 1 e 24 foram os que apresentaram uma maior variação de vazão, onde o modelo 1 apresentou uma redução de vazão de 35% após 216h de funcionamento, no entanto a partir deste momento apresentou elevação de vazão, chegando a um aumento de 44% ao final do experimento (648h); o modelo 24 apresentou 100% de elevação de vazão após 288h de aplicação, reduzindo em seguida e ao final de 648h de funcionamento apresentou uma elevação de vazão de 39 %. Esta elevação de vazão deve-se, possivelmente, a uma fase inicial do entupimento com aumento de vazão, devido a possíveis danos na membrana de compensação dos emissores autocompensantes. Os demais modelos (2, 3, 7 e 13) observados na Figura 46 mantiveram-se praticamente constantes por todo o ensaio.

Observando a Figura 53, os modelos 4, 6, 9 e 10 apresentaram redução de vazão, após 648h de funcionamento, da ordem de 10, 11, 17 e 15%, respectivamente e os modelos 17 e 25, apresentaram aumento de 4 e 6%, respectivamente, ao final do ensaio.

Analisando os modelos 5, 11, 14, 15, 16, e 22 (Figura 54) e estabelecendo comparação entre o tempo de funcionamento de 0 e 648 horas de funcionamento verificou-se redução de vazão igual a 29, 27, 28, 29, 40 e 33%, respectivamente.

As reduções de vazão mais acentuada ocorreram nos modelos 19 e 21 (Figura 55) que apresentaram uma redução total de vazão a partir de 360 e 648 horas de funcionamento, respectivamente. Estes modelos (19 e 21) apresentaram resultados semelhantes, ou seja, de

obstrução total, nos ensaios realizados nos tratamentos T4 (Figura 15 / modelo E) e T1 (Figura 12 / modelo F) do experimento A, respectivamente.

O modelo 12, também não apresentou um bom resultado, pois sofreu uma redução de vazão de 71%. Resultado semelhante foi demonstrado por este modelo, quando submetido aos ensaios realizados nos tratamentos T1 e T4 (Figuras 31 e 34 / modelo M) do experimento A, onde sofreu redução de 91 e 100%, respectivamente, ao final do experimento. Nos modelos 18, 23 e 26 as reduções de vazão foram de 51, 31 e 62% ao final do experimento (648 h).

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras de 52 a 55 a Tabela do anexo Q apresenta os valores de vazão relativa (QR), expresso em percentagem do tratamento T5 do experimento B.

Figura 52 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 1, 2, 3, 7, 13 e 24 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento

Figura 53 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 4, 6, 8, 9, 10, 17 e 25 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 54 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 5, 11, 14, 15, 16, 20 e 22 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 55 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 12, 18, 19, 21, 23 e 26 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Nas Figuras 56, 57, 58 e 59 encontram-se os valores de coeficiente de variação de vazão (%) para os emissores avaliados no tratamento T5 do experimento B. De acordo com estas Figuras podemos observar que o coeficiente de variação de vazão inicial (zero hora), dos emissores usados, variou de 3,3 (modelo 9) a 93,9 % (modelo 23). Os emissores dos modelos de 4 a 10, os de 12 a 15 e os dos modelos 18, 20, 22, 25 e 26, mantiveram seus valores de coeficiente de variação inicial dentro dos considerados bons de acordo com a classificação da ABNT (1986), indicando que estes modelos, mesmo tendo sido ensaiados anteriormente, possuem boa qualidade. Ainda para o coeficiente de variação de vazão inicial os modelos 1 e 17 são considerados médios, os modelos 2, 24 e 16 marginais e os modelos 3, 11, 19, 21 e 23 inaceitáveis.

O maior valor de coeficiente de variação de vazão foi apresentado pelo modelo 23, que chegou a 159,3% a partir de 576 horas de funcionamento, porém reduziu este valor para 39,1% ao final do ensaio (648 h). Este mesmo modelo, também, apresentou o maior valor de coeficiente de variação de vazão quando submetido aos ensaios realizados nos tratamentos T1, T2 e T4 (Figuras 20 a 23 / modelo G) do experimento A, a saber: 316,2; 161,1 e 210,8%, respectivamente.

Na Figura 56, observa-se que o modelo 13 manteve seu coeficiente de variação de vazão dentro dos valores considerados bons, durante todo o ensaio, o modelo 17, embora após 648 horas de funcionamento tenha apresentado um aumento no valor do coeficiente de variação,

também se manteve numa faixa considerada média. O modelo 2 variou seus valores de coeficiente de variação de vazão entre a faixa do bom ao marginal até o final do ensaio. O modelo 3, mesmo tendo apresentado coeficiente de variação inicial inaceitável (35,3%) e mantido este valor praticamente constante até o final do ensaio, quando comparado aos valores de vazão relativa, notou-se que não houve variação da mesma ao longo de todo o experimento. Os modelos 1 e 24 apresentaram de coeficiente de variação de vazão de 66,2 e 53,1%, após 648 horas de funcionamento.

Observando a Figura 57 constatou-se que o modelo 10 manteve seu valor de coeficiente de variação dentro da faixa considerada aceitável, durante todo o ensaio. Resultado semelhante foi demonstrado por este modelo nos ensaios realizados nos tratamentos T1, T2 e T3 (Figuras 39 a 41 / modelo L) do experimento A. Os modelos 4, 6 e 8 mantiveram-se praticamente constante ao longo do experimento, porém após 648 horas de funcionamento apresentaram valores inaceitáveis de coeficiente de variação de vazão, a saber: 32,8; 30 e 39,9%, respectivamente. Já os modelos 9, 17 e 25 apresentaram algumas alterações em seus valores de coeficiente de variação, no decorrer do experimento, contudo ao final do ensaio, demonstraram valores de coeficiente de variação de vazão de 10,8; 15,7 e 19,1; respectivamente, portanto dentro da faixa considerada média segundo a ABNT (1986).

Conforme se observa na Figura 58, apenas o modelo 20 manteve seu coeficiente de variação dentro da faixa considerada aceitável, por todo o ensaio, os modelos 5, 11, 14, 15, 16 e 22 apresentaram valores de coeficiente de variação superiores a 30%, sendo considerados, portanto inaceitáveis.

O pior desempenho foi observado pelos modelos 19 e 21 (Figura 59) que mostraram elevada suscetibilidade ao entupimento chegando a uma obstrução total de seus emissores a partir de 360 e 648 horas de funcionamento, respectivamente. Os modelos 12, 18 e 26 passaram a apresentar valores inadequados de coeficiente de variação de vazão a partir de 648, 576 e 144 horas de funcionamento, respectivamente.

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras de 56 a 59 a Tabela do anexo R, apresenta os valores de coeficiente de variação de vazão (CV), expresso em percentagem do tratamento T5 do experimento B.

Figura 56 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 1, 2, 3, 7, 13 e 24 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 57 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 4, 6, 8, 9, 10, 17 e 25 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 58 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 5, 11, 14, 15, 16, 20 e 22 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 59 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 12, 18, 19, 21, 23 e 26 avaliados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

2.3.3.2 Tratamento T6 - 20 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAG + sólidos suspensos (400 mg L⁻¹)

Nas Figuras 60, 61, 62 e 63 encontram-se a vazão relativa dos emissores utilizados no tratamento T6 do experimento B. De acordo com estas Figuras o melhor desempenho foi alcançado pelos modelos 3, 8 e 22 que praticamente mantiveram seus valores de vazão relativa em 100% durante todo o funcionamento e o pior foi demonstrado pelos emissores dos modelos 1, 19 e 26 que ao final do ensaio apresentaram reduções de 43, 42 e 34%.

O modelo 24, após 360 horas de funcionamento apresentou rompimento do tubo gotejador em diferentes pontos não sendo possível a continuidade da aplicação do tratamento para este emissor, devido, provavelmente a este emissor possuir uma parede de tubo muito fina, tornando-o mais suscetível ao rompimento após diferentes ensaios.

Na Figura 60 e 61, pode-se observar que, com exceção dos modelos 1 e 24, houve uma leve tendência de redução de vazão nos demais modelos de emissores, não ultrapassando a 20%.

Analisando a Figura 62, observa-se que após 72 horas de funcionamento houve um aumento de 10 e 34% nos valores de vazão relativa dos modelos 15 e 16, respectivamente, fato, este bem comum na fase inicial do entupimento com aumento de vazão em emissores autocompensantes, devido a um desequilíbrio na membrana de autocompensão, no entanto no final do experimento houve redução de vazão em 32% no modelo 15, já o modelo 16 reduziu sua vazão em algumas horas do experimento, porém ao final do mesmo apresentou um aumento de 4% de vazão. Os modelos 5, 11, 14, 20 e 22 apresentaram, ao final do experimento, uma redução de vazão inferior a 20%.

Na Figura 63, nota-se que embora os modelos 12, 18, e 23 tenham apresentado elevação de vazão em algum momento do experimento, ao final de 648 horas de funcionamento demonstraram redução de vazão, da ordem de 27, 11 e 15%, respectivamente. O modelo 21 apresentou elevação de vazão ao longo de todo o experimento.

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras de 60 a 63 na Tabela do anexo S são apresentados os valores de vazão relativa (QR), expresso em percentagem do tratamento T6 do experimento B.

Figura 60 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 1, 2, 3, 7, 13 e 24 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 61 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 4, 6, 8, 9, 10, 17 e 25 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 62 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 5, 11, 14, 15, 16, 20 e 22 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 63 - Vazão relativa (%) dos gotejadores 12, 18, 19, 21, 23 e 26 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Nas Figuras 64, 65, 66 e 67 encontram-se os valores de coeficiente de variação de vazão dos modelos de emissores utilizados no tratamento T6 do experimento B. Analisando estas Figuras, observa-se que o coeficiente de variação de vazão inicial (0 hora), dos emissores usados, variou entre 2,36 (modelo 10) e 153,4% (modelo 12). Os emissores dos modelos 2 a 11 e os dos modelos 14, 18, 20, 25 mantiveram seus valores de coeficiente de variação inicial dentro dos limites considerados bons de acordo com a classificação da ABNT (1986), indicando que estes modelos, mesmo tendo sido ensaiados anteriormente, possuem boa qualidade. Ainda para o coeficiente de variação de vazão inicial, os modelos 15 e 17 são considerados médios e os modelos 1, 12, 13, 16, 19, 21, 22, 23, 24 e 26 inaceitáveis.

O maior valor de coeficiente de variação de vazão foi apresentado pelo modelo 12, que chegou a 193,9% ao final do experimento. Resultados semelhantes foram demonstrados por este modelo quando submetido aos tratamentos T1, T2 e T4 (Figuras 39, 40 e 42 / modelo M) do experimento A, onde apresentou valores de coeficiente de variação de vazão de 316,2; 86,2 e 268,8%, respectivamente.

Conforme a Figura 64, pode-se observar que o modelo 3 manteve-se aceitável para irrigação em todo o período ensaiado e de acordo com a Figura 60, também não houve variação de vazão neste emissor. Os modelos 1, 2, 7 e 13 apresentaram valores finais de coeficiente de variação da ordem de 50,74; 36,17; 36,04 e 36,92%, respectivamente. Conforme já fora mencionado, o modelo 24 após 360 horas de funcionamento apresentou rompimento do tubo gotejador em diferentes pontos não sendo possível a continuidade da aplicação do tratamento.

Comparando os valores de coeficiente de variação de vazão inicial (0 hora) e a 648 h de funcionamento (Figura 65), nota-se que, excetuando-se o modelo 9, os demais modelos (4, 6, 8, 10, 17 e 25) mantiveram-se inferiores a 10%, portanto dentro da faixa considerada como bons emissores.

Conforme Figura 66, pode-se observar que os modelos 16 e 22 apresentaram valores de coeficiente de variação de vazão em níveis inaceitáveis por todo o experimento e os modelos 14 e 15 tornaram-se inaceitáveis a partir de 288 e 72 horas de funcionamento, respectivamente.

Os modelos 12, 21, 23 e 26, observados na Figura 67, apresentaram valores superiores a 30% ao longo de todo o experimento, sendo o pior desempenho alcançado pelo modelo 12, cujo coeficiente de variação manteve-se superior a 120% durante todo o ensaio. O modelo 18 somente apresentou-se inadequado após 576 horas de funcionamento e o modelo 19 apresentou

coeficiente de variação de vazão inicial (0 h) superior aos valores aceitáveis, porém a partir de 216 h demonstrou valores inferiores a 10% elevando novamente para níveis inaceitáveis (68,8%) ao final do experimento.

Comparando o coeficiente de variação de vazão inicial (0 hora), dos emissores usados, utilizados nos tratamentos T5 (Figuras 56 a 59) e T6 (Figuras 64 a 67) do experimento B observou-se que mesmo depois de vários ensaios e tratamentos de desobstruções os modelos de 4 a 11 mantiveram-se dentro dos limites considerados bons de acordo com a classificação da ABNT (1986), para ambos os tratamentos, portanto mostrando-se de boa qualidade. E que, os emissores dos modelos 19, 21 e 23 mostraram-se inaceitáveis para a irrigação, também em ambos os tratamentos.

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras de 64 a 67 na Tabela do anexo T são apresentados os valores de coeficiente de variação de vazão (CV), expresso em percentagem do tratamento T6 do experimento B.

Figura 64 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 1, 2, 3, 7, 13 e 24 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 65 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 4, 6, 8, 9, 10, 17 e 25 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 66 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 5, 11, 14, 15, 16, 20 e 22 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Figura 67 – Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 12, 18, 19, 21, 23 e 26 avaliados no tratamento T6 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

3 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na condução dos ensaios permitiram chegar às seguintes conclusões:

- a. Os modelos de tubos gotejadores apresentaram desempenhos variáveis, tanto na suscetibilidade ao entupimento quanto no coeficiente de variação de vazão, sugerindo que a arquitetura interna dos emissores avaliados, foi o fator determinante na caracterização do processo de entupimento, desta forma, adequações na arquitetura podem minimizar tanto a obstrução causada pelo ferro solúvel como os efeitos ocasionados por ela;
- b. A análise comparativa entre os diferentes tratamentos empregados, mostrou que a aplicação de partículas de solo e elevado teor de ferro, sem passar por filtragem (T1 e T4/Fase2/experimento A) intensificaram o processo de entupimento;
- c. O posicionamento para baixo dos orifícios dos emissores foi a variável que demonstrou maior susceptibilidade ao entupimento;
- d. A adição de partículas de solo aos tratamentos T2 e T4/Fase 2/experimento A, passando pelo sistema de filtragem, não potencializou mudanças significativas do cenário de suscetibilidade ao entupimento na grande maioria dos emissores analisados;
- e. Nos ensaios realizados no experimento A os modelos A, C e L foram os que apresentaram um melhor desempenho, mantendo suas vazões praticamente constante mesmo quando submetidos aos tratamentos mais agressivos (T1 e T4/Fase2/experimento A/emissores↓). Estes emissores podem contribuir para projetos de irrigação mais econômicos, pois não requerem sistemas de filtragem sofisticados;
- f. Os tratamentos realizados no experimento A mostraram que os modelos de emissores E, F, G e P foram os que sofreram maiores percentuais de obstrução;
- g. Os modelos E e F também apresentaram os piores desempenhos quando submetidos aos ensaios realizados tratamento T5 (hidróxido de ferro + água LAB) do experimento B (modelos 19 e 21);
- h. A tabela de classificação de água para irrigação por gotejamento proposta por Bucks, Nakayama e Gilbert (1979), no tocante ao nível de ferro na água não foi adequada ao

ensaio conduzido, pois na Fase 1 do experimento A não observou-se entupimento severo para ferro solúvel maior que $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, o que justifica o uso da irrigação por gotejamento em regiões do Brasil com teores de ferro solúvel na água em torno de até $4,0 \text{ mg L}^{-1}$, conforme se tem verificado no campo. Sendo, portanto, sugerido a elaboração de uma nova classificação do potencial de risco de águas no entupimento de sistema de irrigação localizada, no tocante aos teores de ferro.

REFERÊNCIAS

ADIN, A.; SACKS, M. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 117, n. 6, p. 813-826, 1991.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**: superintendência de planejamento de recursos hídricos. Brasília: ANA, SPR, 2005. 176 p.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. ASAE EP 458: field evaluation of microirrigation systems. In: _____. **ASAE standards**. St. Joseph, 2001. p. 792-797.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Emissores para sistemas de irrigação localizada**: avaliação das características operacionais; PNBR 12: 02-08-021. São Paulo, 1986. 7 p.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de R.S. Gheyi et al. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BOMAN, B.J. Effects of orifice size on microsprinkler clogging rates. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 11, n. 6, p. 839-843, 1995.

BOMAN, B.J.; ONTERMAA, E. Citrus microsprinkler clogging: costs, causes, and cures. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, n. 107, p. 39-47, 1994

BRALTS, V.F.; EDWARDS, D.M.; WU, I.P. Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept. **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, 1987. p. 67-117.

BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2, p. 149-162, 1979.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 68, p. 135–149, 2004.

CHRISTOFIDIS, D. Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 37-46, 2006

CLARK, A.G.; SMAJSTRLA, A.G. **Treating irrigation systems with chlorine**. Gainesville: University of Florida, 1992. 140p. (Florida Cooperative Extension Service. Circular, 1039).

COELHO, R.D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. **Sistema de controle de qualidade da água média**: resultados análises ferro – 1995/2000. Varginha, 2000 1 p. (Tabela).

CORDEIRO, E.A. **Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento**. 2002. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002

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.

ENGLISH, S.D. Filtration and water treatment for micro-irrigation. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1985. p. 50-57.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Sources, treatment, processes and uses of sewage effluent. In: _____. **Irrigation with treated sewage effluent**: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. chap. 2, p. 3-33.

FORD, H.A.; TUCKER, D.P.H. Clogging of drip systems from metabolic products of iron and sulfur bacteria. International. Drip Irrigation. 2 Congress Proceedings, San Diego: 1986. p.212 – 214.

FORD, H.W. **Iron ochre and related sludge deposits in subsurface drain lines**. Gainesville: University of Florida, 1993. 16 p. (Florida Cooperative Extension Service. Circular, 671).

GASTALDINI, M.C.C.; MENDONÇA, A.S.F. Conceito para a avaliação da qualidade da água. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. (Org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. cap. 1, p. 3-13.

GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. (Ed.). **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. chap. 3, p. 142-163.

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.

GILBERT, R.G.; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH, O.F.; ADAMSON, K.C. Trickle irrigation: emitter clogging and flow problems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 3, p. 159, 1981.

HANSON, B.R.; LAMM, F.R. Drip irrigation of row crops: an overview. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1995. p. 651-655.

HASSAN, F.A. Water quality for microirrigation. In: MICROIRRIGATION FORUM, 1999. Disponível em: <<http://www.microirrigationforum.com/new/archives/wq.html>>. Acesso em: 11 abr. 2008.

HEIS, T.L.; SINGER, P.C. Complexation of iron (II) by organic matter and its effect on iron (II) oxygenation. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 8, n. 6, p. 569-573, 1974.

HILLEL, D. **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, 1982. v. 1, 302 p.

HILLS, D.J.; BRENES, M.J. Microirrigation of wastewater effluent using drip tape. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 17, n. 3, p. 303-308, 2001.

JACKSON, R.C.; KAY, M.G. Use of pulse irrigation for reducing clogging problems in trickle emitters. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v. 37, p. 223-227, 1987.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-684, Jan. 1974.

LEÃO, P.C.S.; SOARES, J.M. **A viticultura no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi Árido, 2000. p.45 – 64.

LEITE, J.A.O. **Avaliação da susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio**. 1995. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

LOIOLA, M.L., SOUZA, F. Estatística sobre a irrigação no Brasil segundo o censo agropecuário 1995-1996. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 171-180, 2001.

LÓPEZ, J.R.; ABREU, J.M.H.; REGALADO, A.P.; HERNÁNDEZ, J.F. **Riego localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 505 p.

_____. **Riego localizado**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1997. 405 p.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: Ed UFV, 2006. 318 p.

MARTINS, M. L. N. ; SPERLING, E. V. Dinâmica do ferro e do manganês no hipolímnio do Reservatório Serra Azul.. In: 19. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...**, 1997. v. 1. p. 50-54.

MÉLO, R.F. **Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e plâncton**. 2007. 189 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007

MERRIAM, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MORAES, O. **Determinação do coeficiente de variação de gotejadores e sua influência na uniformidade de emissão em linhas laterais de irrigação por gotejamento**. 1984. 192 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1984.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**, New York, v. 12, p. 187-192, 1991.

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.

PATERNIANI, J.E.S.; PINTO, J.M. Qualidade da água: importância da água na agricultura. In: _____. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap. 4, p. 195-253. (Série Engenharia Agrícola).

PITTS, D.J.; HAMAN, D.Z.; SMAJSTRLA, A.G. **Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems**. Gainesville: University of Florida, 1990. 12.p. (Florida Cooperative Extension Service. Bulletin, 258).

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

_____. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513 p.

POVOA, A.F.; HILLS, D.J. Sensitivity of microirrigation system pressure to emitter plugging and lateral line perforations. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 3, p. 793-799, 1994.

RALPH, D.E.; STEVENSON, J.M. The role of bacteria in well clogging. **Water Research**, New York, v. 29, n. 1, p. 365-369, 1995.

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.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z.; LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent1. **Agricultural Water Manajement**, Amsterdam, v. 33, p. 127-37, 1997.

RESENDE, R.S. **Susceptibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação.** 1999. 77 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

RESENDE, R.S.; COELHO, R.D.; PIEDADE, S.M.S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 368-375, 2000.

SAGI, G.; PAZ, E.; RAVINA, I. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulphur bacteria. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1995. p. 250-254.

SANDRI, D.; VALENTIM, M.A.A.; ROSTON, D.M.; MATSURA, E.E.; MAZZOLA, M. Tratamento e aplicação de água residuária na irrigação: implantação de um protótipo experimental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBEA, 2000. 1 CD-ROM.

SILVA, M.O.; ALMEIDA, C. Incrustações ferruginosas em captações: um caso de recuperação espectacular. **Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências de Lisboa**, Lisboa, v. 16, n. 1, p.219-227, 1979.

SILVANAPPAN, R.K.; LAMM, F.R. Present status and future of microirrigation in India. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, New Delhi. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1995. p. 740-744.

SMAJSTRLA, A.G.; BOMAN, B.J. **Flushing procedures for microirrigation systems.** Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 1999. 6 p. (Bulletin, 333).

SMAJSTRLA, A.G. Prevention of microirrigation emitter clogging. In: SOUTH TEXAS IRRIGATION CONFERENCE, 1991, Hondo. **Proceedings...** Hondo: Texas Agricultural Extension Service, 1991. p. 132-139.

SOLOMON, K.H. Manufacturing variation of trickle irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1043, 1979.

_____. Yield related interpretations of uniformity measures. **Irrigation Science**, Berlin, v. 5, n. 3, p. 161-172, 1984.

TAJRISHY, M.A.; HILLS, D.J.; TCHOBANOGLIOUS, G. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 120, n. 4, p. 716-731, 1994.

TAYLOR, H.D.; BASTOS, R.K.X.; PEARSON, H.W.; MARA, D.D. Drip irrigation with waste stabilization pond effluents: solving the problem of emitter fouling. **Water Science & Technology**, London, v. 31, n. 12, p. 417-424, 1995.

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

TODD, D.K. **Groundwater hydrology**. New York: John Wiley, 1980. 282 p.

VANZELA, L.S. **Qualidade de água para a 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, A.T. **Caracterização hidráulica de um tubo gotejador**. 1996. 56 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1996.

VIEIRA, G.H.S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, J.G.F.; RAMOS, M.M.; SILVA, C.M. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina, Grande, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2004.

ANEXOS

Anexo A – Vazão média (q_m), expresso em $L \cdot h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR), expresso em %, dos gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, para os modelos A, B, C, D, E, F e G, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 $mg \cdot L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 $mg \cdot L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Aplicação (h)	Modelos													
	A		B		C		D		E		F		G	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
0	2,07	100	2,17	100	2,30	100	1,87	100	1,36	100	1,42	100	1,17	100,00
72	2,05	99	2,12	98	2,07	90	1,80	96	1,27	94	1,46	103	1,09	93,20
FASE 1 144	2,06	100	2,12	98	2,15	94	1,78	95	1,29	95	1,46	103	1,14	97,67
216	2,18	105	2,15	99	2,17	95	1,80	97	1,40	103	1,43	101	1,11	94,54
288	2,16	105	2,08	96	2,29	100	1,88	101	1,40	103	1,49	105	1,16	99,12
360	2,17	105	2,11	97	2,24	97	1,84	99	1,40	103	1,46	103	1,13	96,83
432	2,16	104	2,16	100	2,43	106	1,89	101	1,37	101	1,51	107	1,24	106,09
504	2,18	105	1,97	91	2,33	101	1,84	99	1,43	105	1,46	103	1,17	100,18
576	2,07	100	1,81	84	2,26	98	1,74	93	1,40	103	1,18	83	1,17	99,65
648	1,76	85	1,05	49	2,16	94	1,71	92	1,21	89	0,82	58	0,91	77,34
720	1,69	82	1,05	48	2,09	91	1,47	79	0,97	72	0,28	20	0,70	59,95
FASE 2 792	1,72	83	1,00	46	2,12	92	1,25	67	1,24	91	0,00	0	0,56	48,13
864	1,69	82	0,95	44	2,10	91	1,04	56	1,10	81	0,00	0	0,53	45,58
936	1,66	80	0,79	37	2,02	88	0,90	48	0,98	73	0,00	0	0,40	34,40
1008	1,36	66	0,66	30	2,05	89	0,75	40	1,00	74	0,00	0	0,11	9,63
1080	1,27	61	0,61	28	2,06	90	0,51	28	0,99	73	0,00	0	0,08	7,22
1152	1,26	61	0,60	28	2,06	90	0,51	27	0,98	72	0,00	0	0,00	0,00
1224	1,25	61	0,53	24	2,07	90	0,50	27	0,97	72	0,00	0	0,00	0,00
1296	1,23	59	0,00	0	2,01	88	0,31	17	0,96	70	0,00	0	0,00	0,00
1368	0,80	39	0,00	0	1,99	87	0,41	22	0,67	50	0,00	0	0,00	0,00

Anexo B – Vazão média (q_m), expresso em $L \cdot h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR), expresso em %, dos gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, para os modelos A, B, C, D, E, F e G, no Tratamento T2 - F1/água LAB/6 mg L^{-1} de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L^{-1} de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Aplicação (h)	Modelo													
	A		B		C		D		E		F		G	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
0	2,12	100	2,13	100	2,31	100	1,86	100	1,38	100	1,44	100	1,19	100
72	2,17	103	2,03	96	2,22	96	1,84	99	1,40	102	1,40	97	1,10	92
FASE 1 144	2,19	104	2,15	101	2,35	102	1,94	104	1,42	103	1,47	102	1,14	96
216	2,16	102	2,06	97	2,26	98	1,89	101	1,38	100	1,47	101	1,15	96
288	2,17	102	2,07	97	2,23	97	1,87	101	1,39	101	1,46	101	1,14	95
360	2,17	102	2,06	97	2,25	97	1,88	101	1,30	94	1,37	95	1,14	96
432	2,20	104	2,12	100	2,27	98	1,91	102	1,31	95	1,38	96	1,14	96
504	2,25	106	2,10	99	2,29	99	1,90	102	1,40	102	1,50	104	1,14	96
576	2,22	105	2,11	99	2,27	99	1,91	102	1,40	102	1,49	103	1,14	96
648	2,23	105	2,14	101	2,30	100	1,87	101	1,47	107	1,50	104	1,15	96
720	2,19	103	2,09	98	2,29	99	1,90	102	1,44	105	1,39	96	1,11	93
FASE 2 792	2,20	104	2,10	99	2,28	99	1,90	102	1,41	102	0,72	50	0,56	47
864	2,18	103	2,11	99	2,26	98	1,87	101	1,41	102	0,71	49	0,54	45
936	2,14	101	2,12	100	2,25	98	1,83	98	1,35	98	0,71	49	0,43	36
1008	2,17	102	2,11	99	2,26	98	1,71	92	1,38	100	0,68	47	0,43	36
1080	2,14	101	2,06	97	2,30	100	1,54	83	1,35	98	0,42	29	0,44	37
1152	2,15	102	2,09	98	2,28	99	1,46	79	1,36	99	0,42	29	0,44	36
1224	2,15	101	2,08	98	2,24	97	1,43	77	1,35	98	0,42	29	0,33	28
1296	2,14	101	1,86	88	2,23	97	1,30	70	1,07	98	0,13	9	0,33	28
1368	2,08	98	1,75	82	2,23	97	1,05	56	1,39	101	0,13	9	0,33	28

Anexo C – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR), expresso em %, dos gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, para os modelos A, B, C, D, E, F e G, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 $mg\ L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 $mg\ L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Aplicação (h)	Modelo											
	A		B		C		D		E		F	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
0	2,17	100	2,04	100	2,32	100	1,85	100	1,47	100	1,45	100
72	2,14	99	2,08	102	2,18	94	1,84	100	1,43	98	1,46	101
FASE 1	144	99	2,06	101	2,20	95	1,85	100	1,42	97	1,50	103
216	2,14	98	2,11	103	2,23	96	1,83	99	1,37	94	1,48	102
288	2,18	100	2,09	102	2,32	100	1,90	103	1,34	96	1,48	102
360	2,16	99	2,10	103	2,28	98	1,87	101	1,36	96	1,48	102
432	2,21	101	2,10	103	2,31	100	1,88	102	1,46	99	1,58	109
504	2,21	102	2,14	105	2,33	100	1,90	103	1,57	107	1,49	102
576	2,21	101	2,13	104	2,32	100	1,90	103	1,51	103	1,53	106
648	2,21	102	2,14	104	2,36	102	1,96	106	1,50	102	1,52	105
720	2,12	98	2,05	100	2,30	99	1,94	105	1,44	98	1,54	106
FASE 2	792	99	2,05	100	2,30	99	1,93	105	1,44	98	1,45	100
864	2,13	98	2,06	101	2,30	99	1,96	106	1,43	97	1,45	100
936	2,03	93	2,03	100	2,24	96	2,00	108	1,40	95	1,44	99
1008	2,07	95	2,04	100	2,27	98	1,96	106	1,41	96	1,45	100
1080	2,12	98	2,04	100	2,32	100	1,91	103	1,40	95	1,45	100
1152	2,07	95	2,03	99	2,30	99	1,96	106	1,40	96	1,45	100
1224	2,09	96	2,03	100	2,28	98	1,90	103	1,39	95	1,43	98
1296	2,06	95	2,03	99	2,22	96	1,86	101	1,38	94	1,45	100
1368	2,06	95	2,03	99	2,21	95	1,88	102	1,43	98	1,44	99

Anexo D – Vazão média (q_m), expresso em $L \cdot h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR), expresso em %, dos gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, para os modelos A, B, C, D, E, F e G, no Tratamento T4 - F1/água LAB/6 $mg \cdot L^{-1}$ de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 $mg \cdot L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Aplicação (h)	Modelo											
	A		B		C		D		E		F	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
0	2,15	100	2,07	100	2,17	100	1,85	100	1,39	100	1,51	100
72	2,11	98	1,96	95	2,18	101	1,66	90	1,28	92	1,50	99
FASE 1 144	2,11	98	2,12	102	2,20	101	1,89	102	1,28	92	1,49	99
216	2,13	99	2,06	100	2,25	104	1,82	98	1,33	96	1,51	100
288	2,14	100	2,07	100	2,23	103	1,83	99	1,38	99	1,45	96
360	2,14	99	2,07	100	2,24	103	1,83	99	1,35	98	1,48	98
432	2,25	105	2,09	101	2,35	109	1,84	99	1,44	104	1,48	98
504	2,19	102	2,06	99	1,86	86	1,97	107	1,40	101	1,50	99
576	2,20	102	2,08	100	1,76	81	1,95	106	1,41	102	1,39	92
648	2,19	102	1,84	89	1,86	86	1,98	107	1,45	105	1,31	86
720	2,18	101	1,95	94	1,60	74	1,81	98	1,40	101	0,89	59
FASE 2 792	2,16	101	2,01	97	1,34	62	1,81	98	1,41	102	0,98	65
864	1,94	90	2,00	97	1,34	62	1,81	98	1,36	98	1,01	67
936	1,92	90	1,97	95	1,34	62	1,81	98	1,26	91	1,02	68
1008	1,94	90	1,97	95	1,34	62	1,91	103	1,25	90	1,00	66
1080	1,94	90	2,01	97	1,35	62	1,90	103	1,26	91	0,86	57
1152	1,93	90	2,01	97	1,35	62	1,92	104	1,18	85	0,78	52
1224	1,92	89	2,01	97	1,36	63	1,90	103	0,70	50	0,67	44
1296	1,91	89	1,92	92	1,34	62	1,85	100	0,13	9	0,58	38
1368	1,90	88	1,58	76	1,32	61	1,86	101	0,00	0	0,58	38

Anexo E – Uniformidade de distribuição (UD), expresso em % e coeficiente de variação de vazão (CV) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Aplicação (h)	Modelo													
	A		B		C		D		E		F		G	
	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV
0	99,1	0,7	98,7	1,1	97,0	2,7	97,6	2,3	98,0	2,5	95,7	4,6	94,6	4,7
72	94,6	4,5	96,7	2,8	95,7	4,5	94,4	5,9	90,2	9,3	95,7	4,8	92,0	6,7
FASE 1 144	94,6	5,0	97,2	2,4	95,1	5,0	95,6	4,3	90,9	8,7	95,9	4,5	93,7	5,4
216	96,5	3,3	98,3	1,4	95,0	4,9	96,4	2,8	94,3	5,2	95,6	4,6	95,1	3,8
288	99,0	1,0	98,0	1,7	96,0	3,6	97,6	2,2	95,9	3,7	94,5	6,3	95,7	3,8
360	98,2	1,6	98,2	1,5	96,9	2,7	97,4	2,3	95,4	4,1	95,2	4,5	95,4	3,7
432	99,2	0,6	98,5	1,3	96,4	3,0	98,7	1,2	97,1	3,1	96,6	4,1	94,7	8,0
504	97,9	1,9	98,2	1,5	96,6	3,0	97,1	2,8	95,0	5,5	91,2	8,9	92,7	5,8
576	88,5	14,4	69,5	35,4	84,9	16,4	82,0	22,2	95,0	5,0	35,7	53,4	90,6	7,5
648	41,0	52,7	0,0	105,8	71,5	35,2	70,7	35,3	62,9	35,9	0,0	88,6	29,9	54,4
720	40,7	52,7	0,0	105,4	66,6	35,9	43,2	50,3	0,0	69,1	0,0	210,8	0,0	124,6
FASE 2 792	40,3	52,8	0,0	105,5	71,7	35,2	0,0	69,4	67,3	35,8	0,0	0,0*	0,0	105,7
864	39,4	52,9	0,0	106,7	69,9	35,4	0,0	87,5	41,2	44,2	0,0	0,0*	0,0	106,3
936	36,7	53,2	0,0	129,7	66,6	35,8	0,0	105,5	12,4	61,7	0,0	0,0*	0,0	129,9
1008	12,2	70,2	0,0	142,8	69,3	35,5	0,0	121,9	18,5	58,6	0,0	0,0*	0,0	245,6
1080	0,0	86,1	0,0	156,0	71,8	35,2	0,0	162,1	16,2	59,8	0,0	0,0*	0,0	316,2
1152	0,0	86,2	0,0	161,2	71,0	35,3	0,0	162,5	13,1	61,4	0,0	0,0*	0,0	0,0*
1224	0,0	86,1	0,0	164,1	70,3	35,4	0,0	163,0	13,1	61,3	0,0	0,0*	0,0	0,0*
1296	0,0	86,3	0,0	0,0*	70,0	35,4	0,0	214,7	12,2	61,8	0,0	0,0*	0,0	0,0*
1368	0,0	129,6	0,0	0,0*	70,4	35,4	0,0	164,0	0,0	97,3	0,0	0,0*	0,0	0,0*

*Todos os emissores entupidos

Anexo F – Uniformidade de distribuição (UD), expresso em % e coeficiente de variação (CV) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T2 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Aplicação (h)	Modelo													
	A		B		C		D		E		F		G	
	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV
0	98,5	1,6	95,3	4,9	98,6	1,3	97,5	2,5	95,5	4,4	95,5	4,4	96,4	3,4
72	98,5	1,4	98,5	1,4	97,3	2,4	97,0	2,3	94,2	5,8	94,2	5,8	99,1	0,8
FASE 1 144	99,0	1,2	97,8	2,0	94,5	6,7	95,9	5,3	95,1	4,7	95,1	4,7	98,1	1,7
216	99,1	0,7	97,7	2,0	96,1	3,1	98,3	1,5	94,8	5,6	94,8	5,6	97,9	1,8
288	97,1	2,6	98,3	1,5	96,4	2,9	98,4	1,3	95,0	5,0	95,0	5,0	97,7	2,0
360	98,5	1,3	98,0	1,6	96,3	3,0	98,5	1,4	94,9	5,3	94,9	5,3	97,9	1,9
432	98,4	1,6	98,0	1,8	97,5	2,5	99,4	0,6	95,0	5,2	95,0	5,2	96,1	3,1
504	98,8	1,3	97,1	2,9	97,7	2,3	98,6	1,1	94,7	5,4	94,7	5,4	94,7	3,9
576	98,7	1,4	97,2	3,0	97,9	2,1	98,9	0,9	94,8	5,3	94,8	5,3	97,0	2,5
648	98,7	1,2	96,4	4,1	96,0	3,5	94,7	4,2	94,5	5,3	94,5	5,3	96,3	2,8
720	98,1	1,7	98,1	1,5	95,9	3,8	96,9	2,8	93,7	5,5	93,7	5,5	94,4	5,0
FASE 2 792	98,2	1,5	98,0	2,0	96,5	3,2	99,7	0,4	94,1	5,7	94,1	5,7	0,0	105,5
864	98,6	1,3	98,0	1,7	96,4	3,2	98,6	1,3	93,8	6,0	93,8	6,0	0,0	105,9
936	98,6	1,2	97,9	2,1	96,0	4,1	96,3	3,7	94,4	6,5	94,4	6,5	0,0	129,2
1008	98,7	1,3	98,0	1,7	96,2	3,6	81,7	22,5	94,1	6,0	94,1	6,0	0,0	129,1
1080	96,1	4,5	97,3	2,9	97,8	2,2	53,2	41,9	94,4	6,5	94,4	6,5	0,0	129,3
1152	97,4	2,6	98,1	2,1	97,4	2,7	44,2	48,3	94,3	6,2	94,3	6,2	0,0	129,2
1224	99,2	1,0	98,2	1,5	96,0	3,3	39,1	52,9	93,9	6,1	93,9	6,1	0,0	161,0
1296	98,2	1,7	72,2	35,2	96,6	3,1	17,0	59,2	94,9	5,0	94,9	5,0	0,0	161,1
1368	92,4	8,7	64,2	36,3	95,8	3,8	0,0	86,3	94,7	5,1	94,7	5,1	0,0	161,1

Anexo G – Uniformidade de distribuição (UD), expresso em % e coeficiente de variação de vazão (CV) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Aplicação (h)	Modelo														
	A		B		C		D		E		F		G		
	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	
0	97,1	2,7	97,5	2,2	93,8	8,1	98,6	1,4	94,8	5,4	94,8	5,4	96,8	3,0	
72	97,8	2,1	97,2	2,4	93,9	5,9	94,8	3,8	91,8	7,2	91,8	7,2	94,9	5,0	
FASE 1	144	97,5	2,3	97,3	2,1	93,7	6,2	94,8	3,9	89,3	9,0	89,3	9,0	95,0	5,1
216	97,9	2,2	97,8	2,1	96,6	3,5	97,2	2,2	92,0	7,2	92,0	7,2	96,2	3,2	
288	97,2	2,4	97,6	2,2	96,8	3,4	98,0	1,6	94,1	5,8	94,1	5,8	96,6	3,1	
360	97,7	2,1	97,7	2,1	96,7	3,4	97,6	1,8	92,7	6,0	92,7	6,0	96,6	3,1	
432	97,9	2,0	97,0	2,8	97,4	2,6	96,6	3,6	93,9	5,6	93,9	5,6	96,5	3,3	
504	98,1	2,0	97,6	2,1	97,3	2,6	98,5	1,3	85,7	27,3	85,7	27,3	96,7	3,2	
576	97,9	1,9	97,4	2,3	97,4	2,5	98,7	1,2	89,7	15,0	89,7	15,0	96,9	3,0	
648	97,5	2,4	97,6	2,2	96,9	3,1	98,2	1,9	93,0	6,9	93,0	6,9	96,8	3,0	
720	94,4	5,2	97,1	2,7	97,0	2,8	95,8	3,5	93,5	5,8	93,5	5,8	97,0	2,7	
FASE 2	792	95,1	4,5	96,4	3,2	97,2	2,7	98,6	2,3	92,7	6,6	92,7	6,6	98,0	2,3
864	95,7	3,5	97,5	2,4	97,0	2,8	97,7	2,0	93,4	6,1	93,4	6,1	97,4	2,5	
936	91,3	6,3	97,4	2,5	96,5	3,3	97,8	2,2	93,2	6,4	93,2	6,4	97,4	2,6	
1008	93,6	5,4	97,0	2,8	96,8	3,0	98,0	1,8	93,3	6,2	93,3	6,2	97,6	2,5	
1080	93,8	5,6	97,3	2,6	96,8	2,9	98,5	1,6	91,7	7,4	91,7	7,4	96,8	3,0	
1152	93,4	5,3	97,4	2,5	96,8	2,8	98,8	1,4	92,6	6,7	92,6	6,7	97,2	2,7	
1224	95,2	4,5	97,4	2,5	97,1	2,7	98,0	2,1	92,4	6,7	92,4	6,7	96,7	3,0	
1296	95,4	4,2	97,4	2,6	96,6	2,9	97,3	3,0	92,3	6,8	92,3	6,8	92,9	9,7	
1368	95,2	4,3	97,1	2,7	96,9	2,8	98,9	1,0	93,4	6,0	93,4	6,0	95,8	3,6	

Anexo H – Uniformidade de distribuição (UD), expresso em % e coeficiente de variação de vazão (CV) de todos os gotejadores convencionais avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T4 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Aplicação (h)	Modelo													
	A		B		C		D		E		F		G	
	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV
0	98,6	1,4	96,7	3,2	97,7	2,5	98,2	1,8	94,7	5,2	94,7	5,2	95,6	4,2
72	97,9	2,7	87,3	13,1	96,3	3,1	92,2	6,2	92,5	6,7	92,5	6,7	98,0	2,3
FASE 1 144	98,0	2,4	96,2	3,5	95,5	3,9	95,0	4,2	93,4	5,8	93,4	5,8	97,9	2,6
216	98,0	2,2	96,2	3,6	96,5	3,1	85,0	14,8	93,7	6,0	93,7	6,0	96,8	2,5
288	98,0	2,2	96,1	3,6	97,3	2,5	99,1	0,9	94,9	5,4	94,9	5,4	96,6	3,5
360	98,0	2,2	96,1	3,6	97,0	2,6	92,7	7,4	94,3	5,6	94,3	5,6	97,0	2,8
432	97,8	1,9	95,7	4,3	97,7	2,3	93,9	5,5	89,8	9,4	89,8	9,4	95,6	3,3
504	96,7	2,9	95,9	3,7	68,6	35,7	99,3	0,6	95,1	4,8	95,1	4,8	91,1	9,2
576	97,1	2,7	95,9	3,8	39,7	52,8	98,3	1,7	94,6	5,7	94,6	5,7	93,4	5,8
648	96,9	3,4	62,3	36,9	40,5	52,8	99,2	0,6	94,8	5,1	94,8	5,1	0,0	90,6
720	98,2	1,6	83,5	16,0	0,0	69,0	80,7	15,5	94,0	5,7	94,0	5,7	0,0	88,1
FASE 2 792	98,5	1,6	91,0	7,4	0,0	86,1	82,8	12,9	94,7	5,2	94,7	5,2	0,0	161,1
864	72,9	35,2	89,7	8,7	0,0	86,1	82,1	13,4	87,7	13,9	87,7	13,9	0,0	161,1
936	72,0	35,2	87,6	10,2	0,0	86,1	91,3	7,3	71,1	35,4	71,1	35,4	0,0	161,1
1008	72,0	35,3	87,7	10,2	0,0	86,1	91,5	7,3	69,5	35,5	69,5	35,5	0,0	161,1
1080	71,8	35,3	93,1	7,0	0,0	86,1	94,8	5,4	70,9	35,3	70,9	35,3	0,0	161,2
1152	72,1	35,2	93,6	6,8	0,0	86,1	92,4	6,5	70,6	35,5	70,6	35,5	0,0	161,2
1224	72,1	35,3	93,5	6,8	0,0	86,1	94,8	5,6	0,0	90,8	0,0	90,8	0,0	161,1
1296	71,9	35,3	92,5	6,9	0,0	86,1	93,8	5,9	0,0	210,9	0,0	210,9	0,0	210,8
1368	71,3	35,3	34,0	53,4	0,0	86,1	88,3	9,0	0,0	0,0*	0,0	0,0*	0,0	210,8

*Todos os emissores entupidos

Anexo I – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR), expresso em %, dos gotejadores autocompensantes avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 $mg\ L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 $mg\ L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Aplicação (h)	Modelos																		
	H		I		J		K		L		M		N		O		P		
	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	
FASE 1	0	2,01	100	1,49	100	1,72	100	2,66	100	1,98	100	2,03	100	1,68	100	3,47	100	1,98	100
	72	2,08	103	1,39	93	1,72	100	2,59	97	1,93	97	1,97	97	1,76	105	3,23	93	1,80	91
	144	2,13	106	1,40	94	1,68	98	2,61	98	2,01	101	1,89	93	1,80	108	3,26	94	1,85	93
	216	2,10	104	1,50	100	1,63	95	2,63	99	1,98	100	1,90	93	1,88	112	3,25	94	1,88	95
	288	2,09	104	1,49	100	1,63	95	2,64	99	2,06	104	1,92	94	1,82	109	3,23	93	2,02	102
	360	2,10	104	1,49	100	1,63	95	2,63	99	2,02	102	1,91	94	1,85	110	3,24	93	1,95	98
Fase 2	432	2,15	107	1,56	105	1,67	97	2,65	100	2,18	110	1,94	96	1,79	107	3,44	99	2,04	103
	504	2,39	119	1,53	102	1,67	97	2,76	104	2,12	107	1,51	74	1,77	105	3,22	93	1,63	82
	576	2,28	113	1,52	102	1,65	96	2,72	102	2,12	107	1,14	56	1,75	104	2,91	84	1,31	66
	648	2,26	112	1,54	104	1,16	68	2,56	96	2,08	105	1,02	50	1,74	104	2,83	82	1,31	66
	720	1,98	98	1,54	103	1,32	77	2,40	90	2,05	104	0,93	46	1,68	100	2,43	70	0,36	18
	792	1,72	86	1,54	103	1,36	79	2,39	90	2,05	104	0,55	27	1,30	77	2,42	70	0,21	10
	864	1,56	78	1,48	99	1,02	60	2,44	92	2,06	104	0,50	25	1,13	67	1,78	51	0,21	10
	936	1,22	61	1,34	90	0,56	32	2,35	88	2,08	105	0,39	19	0,95	57	1,04	30	0,21	11
	1008	1,27	63	1,25	84	0,53	31	2,35	88	2,06	104	0,40	20	0,95	57	1,20	35	0,06	3
	1080	1,29	64	1,17	78	0,27	15	2,15	81	2,00	101	0,40	19	0,85	51	1,09	32	0,06	3
	1152	1,25	62	1,11	75	0,18	11	0,73	28	2,03	102	0,38	19	0,89	53	1,07	31	0,00	0
	1224	1,26	63	1,10	74	0,13	8	0,65	25	1,96	99	0,38	19	0,82	49	0,60	17	0,00	0
	1296	1,21	60	1,11	74	0,06	4	0,55	21	1,94	98	0,38	18	1,09	65	0,17	5	0,00	0
	1368	0,94	47	1,06	71	0,06	4	0,47	18	1,87	94	0,18	9	0,54	32	0,00	0,00	0,00	0

Anexo J – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR), expresso em %, dos gotejadores autocompensantes avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T2 - F1/água LAB/6 $mg\ L^{-1}$ de Fe^{2+} (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 $mg\ L^{-1}$ de Fe^{2+} (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Aplicação (h)	Modelos																		
	H		I		J		K		L		M		N		O		P		
	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	q _m	QR	
FASE 1	0	2,01	100	1,52	100	1,68	100	2,62	100	2,05	100	2,05	100	1,94	100	3,46	100	2,05	100
	72	2,03	101	1,48	98	1,76	105	2,55	97	1,89	92	1,94	95	1,97	101	3,50	101	1,77	86
	144	2,02	100	1,52	100	1,71	102	2,62	100	1,97	96	1,95	95	2,05	105	3,10	90	1,73	84
	216	2,01	100	1,51	100	1,63	96	2,56	98	2,02	98	1,95	95	1,96	101	2,95	85	1,83	89
	288	2,08	104	1,52	100	1,62	96	2,58	98	1,96	96	1,94	95	1,90	98	3,13	90	1,89	92
	360	2,05	102	1,42	94	1,65	98	2,57	98	1,99	97	1,95	95	1,81	93	3,04	88	1,86	91
	432	2,07	103	1,56	103	1,74	104	2,57	98	1,91	93	2,02	99	1,82	94	3,20	92	1,83	89
FASE 2	504	2,03	101	1,54	102	1,67	99	2,59	99	1,98	97	1,93	94	1,88	97	3,02	87	1,73	84
	576	2,05	102	1,55	102	1,67	99	2,58	98	1,95	95	1,98	96	1,91	98	2,91	84	1,73	84
	648	2,05	102	1,51	100	1,67	99	2,54	97	1,96	96	2,04	100	1,78	92	2,80	81	1,69	82
	720	2,15	107	1,51	100	1,74	103	2,57	98	2,02	98	2,03	99	1,74	90	2,94	85	1,71	83
	792	2,14	106	1,47	97	1,68	100	2,53	96	2,02	98	1,47	72	1,79	92	2,92	84	1,20	59
	864	2,12	105	1,48	98	1,68	100	2,55	97	1,98	97	1,34	66	1,82	94	2,94	85	1,22	60
	936	2,12	106	1,46	96	1,64	97	2,52	96	1,98	97	0,94	46	1,86	96	3,04	88	1,09	53
	1008	1,82	90	1,47	97	1,67	99	2,54	97	1,98	96	1,14	56	1,83	94	2,98	86	1,02	50
	1080	2,12	105	1,46	97	1,71	102	2,32	89	1,83	89	1,18	57	1,85	95	2,90	84	0,23	11
	1152	1,36	68	1,46	96	1,67	99	2,27	86	1,85	90	1,17	57	1,84	95	2,97	86	0,14	7
	1224	1,28	63	1,45	95	1,73	103	2,16	82	1,86	91	1,18	57	1,72	88	2,15	62	0,00	0
	1296	1,32	65	1,47	97	1,76	105	1,99	76	1,67	81	1,17	57	1,69	87	2,63	76	0,00	0
	1368	1,35	67	1,47	97	1,71	102	1,86	71	1,79	88	1,15	56	1,69	87	2,24	65	0,00	0

Anexo M – Uniformidade de distribuição (UD), expresso em % e coeficiente de variação de vazão (CV) de todos os gotejadores autocompensantes avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T1 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T1 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Aplicação (h)	Modelos																		
	H		I		J		K		L		M		N		O		P		
	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	
FASE 1	0	93,4	5,6	93,8	4,6	97,8	2,5	97,0	2,8	97,4	2,2	98,1	2,0	93,7	6,9	89,9	9,4	93,4	6,9
	72	94,8	4,9	94,3	4,5	95,1	4,6	95,8	3,5	92,0	7,4	86,3	11,8	94,2	5,2	92,4	7,8	86,0	12,4
	144	95,8	3,6	94,6	4,3	96,6	3,2	95,3	3,9	93,6	6,7	88,1	10,5	96,1	4,3	91,1	8,8	82,2	14,5
	216	96,5	2,7	95,0	4,0	97,2	2,8	95,8	3,9	87,6	12,6	86,0	10,9	95,0	4,5	93,0	7,0	84,1	13,5
	288	96,3	3,1	95,0	4,2	95,6	4,7	96,0	3,8	93,0	7,0	83,8	14,9	95,4	4,0	91,6	7,7	85,8	11,5
	360	96,4	2,7	95,0	4,1	97,1	3,2	95,9	3,9	90,3	9,4	84,9	12,5	95,3	4,2	92,8	7,2	86,3	12,2
FASE 2	432	97,1	2,5	92,8	6,3	98,3	1,8	96,0	3,4	93,1	6,3	85,0	15,3	96,1	3,6	93,2	6,6	88,5	10,2
	504	89,7	11,7	96,2	3,5	95,9	3,5	97,6	2,3	93,4	6,2	29,2	54,6	95,1	4,6	86,0	11,3	48,5	41,5
	576	93,4	6,8	94,8	4,9	96,2	3,0	96,9	2,8	94,4	5,6	0,0	86,7	91,9	7,1	64,1	36,5	3,7	71,9
	648	67,9	26,4	90,3	8,7	6,8	73,1	84,7	14,7	93,7	6,2	0,0	105,6	85,2	11,6	36,1	49,9	0,0	78,6
	720	65,7	35,6	95,4	4,5	40,6	42,6	80,1	16,0	93,9	6,1	0,0	105,6	88,3	11,3	20,4	60,2	0,0	212,8
	792	28,8	54,5	90,0	9,7	50,2	37,6	66,8	26,4	93,5	6,0	0,0	161,2	13,3	60,8	31,6	56,3	0,0	316,2
	864	21,1	63,7	87,0	10,2	36,3	57,5	71,0	21,3	94,8	5,5	0,0	165,5	7,7	67,8	0,0	72,6	0,0	316,2
	936	0,0	91,6	61,6	34,1	0,0	122,4	71,5	23,7	94,5	5,6	0,0	210,8	0,0	87,0	0,0	120,1	0,0	316,2
	1008	0,0	95,1	61,1	36,8	0,0	127,2	72,5	21,0	94,6	5,6	0,0	210,9	0,0	87,1	0,0	102,1	0,0	316,2
	1080	0,0	94,0	48,1	42,3	0,0	163,5	65,2	27,7	94,5	5,7	0,0	211,0	0,0	90,6	0,0	127,5	0,0	316,2
	1152	0,0	94,2	49,7	41,5	0,0	224,7	0,0	135,1	95,4	5,3	0,0	210,8	0,0	87,5	0,0	120,7	0,0	0,0*
	1224	0,0	94,8	49,7	41,4	0,0	213,5	0,0	145,5	95,2	5,4	0,0	210,8	0,0	88,1	0,0	178,3	0,0	0,0*
1296	0,0	93,8	49,7	41,4	0,0	316,2	0,0	176,1	92,1	7,7	0,0	210,9	0,0	148,4	0,0	250,8	0,0	0,0*	
1368	0,0	109,8	31,0	54,5	0,0	316,2	0,0	211,0	94,2	6,9	0,0	316,2	0,0	132,1	0,0	0,0	0,0	0,0*	

*Todos os emissores entupidos

Anexo N – Uniformidade de distribuição (UD), expresso em % e coeficiente de variação de vazão (CV) de todos os gotejadores autocompensantes avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T2 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T2 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Aplicação (h)	Modelos																		
	H		I		J		K		L		M		N		O		P		
	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	
FASE 1	0	93,3	6,0	98,0	1,9	97,2	2,9	94,9	4,6	92,4	10,1	97,4	2,7	75,1	32,0	91,7	8,2	95,0	3,9
	72	96,3	3,1	96,9	2,6	87,0	22,8	96,3	3,2	96,7	4,4	97,7	3,2	86,0	31,4	87,7	19,6	91,2	7,1
	144	94,7	4,6	96,4	3,1	93,3	5,9	95,0	4,1	94,4	5,5	97,6	3,0	84,3	34,2	90,3	9,8	89,1	9,1
	216	97,7	2,2	96,1	3,7	93,4	6,3	95,7	4,1	92,9	9,6	97,3	2,9	87,0	27,9	91,2	7,9	91,3	7,8
	288	92,1	13,0	97,7	2,2	94,0	5,9	95,6	4,1	95,9	4,6	97,4	2,6	86,6	27,2	92,4	7,8	92,9	6,9
	360	95,7	6,3	97,6	2,5	96,9	2,7	95,7	4,1	94,6	5,9	97,6	2,6	86,9	27,5	91,8	7,6	92,5	7,2
FASE 2	432	95,9	4,0	96,4	4,1	96,4	3,6	94,4	5,3	94,9	5,2	97,2	3,0	88,1	26,5	91,7	7,9	84,9	12,0
	504	92,4	6,5	96,7	4,1	94,5	6,0	95,6	4,4	96,3	4,6	94,9	4,8	85,6	29,7	92,8	8,1	85,1	12,5
	576	95,1	4,1	97,3	3,9	95,7	3,3	95,5	4,4	95,8	4,6	96,7	3,6	87,0	28,0	84,7	13,5	86,4	11,0
	648	95,6	3,8	95,5	3,5	97,0	2,8	96,7	2,9	95,9	4,7	95,7	4,6	92,8	6,5	68,6	24,6	86,2	11,8
	720	90,2	10,2	95,4	6,7	96,6	3,5	95,0	4,0	93,1	6,7	96,0	4,1	94,9	5,6	77,9	20,3	84,3	13,7
	792	94,7	7,6	97,0	3,0	97,3	2,9	83,1	14,9	93,6	8,1	28,2	55,2	93,4	6,0	85,8	12,4	0,0	69,3
	864	98,6	1,5	97,4	2,4	97,5	2,5	96,0	3,8	95,1	5,6	15,5	61,3	91,8	13,4	84,4	13,4	0,0	69,6
	936	97,8	2,1	95,2	3,9	94,6	5,1	90,6	8,9	92,0	7,2	0,0	106,2	85,1	24,3	81,0	15,3	0,0	69,4
	1008	35,3	53,7	95,2	4,8	96,7	2,9	89,7	8,9	92,6	6,9	0,0	86,1	87,8	19,1	86,0	12,6	0,0	72,2
	1080	98,2	1,6	96,7	2,7	88,9	11,7	84,2	12,0	94,6	5,7	0,0	86,2	86,1	23,6	83,5	13,7	0,0	216,3
	1152	0,0	88,7	96,0	3,8	93,8	6,2	74,2	21,5	96,7	4,5	0,0	86,2	87,0	21,3	84,6	12,1	0,0	316,2
	1224	0,0	88,4	95,5	3,9	92,2	7,3	71,5	25,5	95,7	4,7	0,0	86,2	93,6	5,6	19,4	65,4	0,0	0,0*
1296	0,0	86,9	91,7	7,2	82,2	16,2	57,6	35,6	78,7	26,5	0,0	86,1	93,9	6,3	43,0	48,6	0,0	0,0*	
1368	0,0	89,9	98,1	1,9	83,1	15,3	36,5	50,5	95,3	4,7	0,0	86,2	94,0	5,7	50,4	45,2	0,0	0,0*	

*Todos os emissores entupidos

Anexo O – Uniformidade de distribuição (UD), expresso em % e coeficiente de variação de vazão (CV) de todos os gotejadores autocompensantes avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T3 - F1/água LAG/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso) e no T3 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↓/sólidos suspensos

Aplicação (h)	Modelos																		
	H		I		J		K		L		M		N		O		P		
	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	
FASE 1	0	96,0	3,4	91,3	6,7	95,8	10,3	96,5	3,5	96,1	3,7	98,8	1,6	95,3	4,9	91,1	8,5	97,2	2,5
	72	95,2	4,1	95,4	3,8	96,6	3,4	95,3	4,6	94,4	5,1	98,5	1,1	95,5	4,6	90,0	9,2	92,1	8,2
	144	94,2	4,9	92,2	7,3	96,0	3,6	95,5	4,9	94,5	5,9	99,3	0,8	95,6	4,7	90,7	9,2	93,1	8,0
	216	96,1	3,6	98,1	1,7	97,2	2,2	95,0	5,3	94,8	4,8	95,5	4,8	95,2	4,9	91,0	8,2	94,8	4,8
	288	94,0	5,9	98,2	1,8	96,0	3,7	95,6	4,0	95,8	4,3	98,8	1,0	94,2	5,4	91,9	7,6	94,3	4,7
	360	95,1	4,5	98,3	1,5	96,8	2,8	95,3	4,1	96,6	3,2	99,2	0,8	94,7	5,1	92,1	7,0	94,5	4,7
FASE 2	432	91,2	8,6	95,3	4,8	95,1	4,7	96,3	3,2	96,7	3,7	98,9	1,1	95,7	4,1	91,3	8,5	91,6	6,9
	504	87,6	10,3	94,7	4,7	97,1	2,4	95,0	5,2	95,3	5,6	99,0	0,9	95,5	3,9	81,5	17,2	94,7	5,2
	576	76,7	23,7	94,8	4,7	96,1	3,5	95,4	4,6	95,8	4,8	99,0	1,0	95,8	3,9	86,9	11,6	94,6	5,1
	648	47,7	46,5	96,2	4,0	95,7	5,2	96,2	4,3	96,1	4,1	99,1	0,9	95,1	4,8	83,7	18,5	91,5	7,4
	720	33,3	54,2	97,9	1,9	95,6	5,6	96,0	4,1	95,2	4,6	97,9	2,3	95,4	5,1	88,8	12,0	78,3	22,7
	792	31,4	54,5	95,1	5,6	97,6	2,9	95,9	4,0	93,8	6,8	98,6	1,3	94,3	5,3	86,5	12,7	87,6	10,1
	864	0,0	69,7	96,7	2,6	96,8	3,8	94,1	5,7	95,2	5,5	99,0	1,0	94,5	5,4	86,8	13,7	87,7	9,3
	936	0,0	88,2	94,4	6,1	95,6	6,1	86,9	13,3	96,0	4,1	98,8	1,0	93,0	6,5	75,9	24,2	86,5	10,9
	1008	0,0	87,2	95,6	5,5	96,2	4,6	95,2	4,8	96,4	3,7	98,9	1,0	93,6	6,2	78,3	20,9	89,6	9,1
	1080	0,0	87,0	96,0	5,7	97,2	2,8	91,7	8,2	95,9	3,6	98,3	1,6	93,9	5,7	79,2	18,9	88,8	9,2
	1152	0,0	87,0	96,1	5,7	97,2	2,8	87,4	11,8	95,9	3,6	98,9	1,2	93,3	6,3	79,4	19,5	88,3	9,0
	1224	0,0	87,1	97,9	1,7	94,2	7,3	87,0	12,0	96,4	3,6	97,4	2,1	94,2	5,6	42,1	45,7	86,2	12,5
1296	0,0	87,1	98,2	1,5	97,2	2,8	84,5	14,5	94,7	4,5	98,2	1,6	94,1	5,8	21,7	62,5	86,9	11,6	
1368	0,0	94,9	98,1	1,8	95,5	4,8	61,6	31,9	95,4	4,2	99,1	1,0	94,2	5,8	41,2	65,2	74,3	22,0	

Anexo P – Uniformidade de distribuição (UD), expresso em % e coeficiente de variação de vazão (CV) de todos os gotejadores autocompensantes avaliados, no período do ensaio, no Tratamento T4 - F1/água LAB/6 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (óxido de ferro) e no T4 – F2/água LAG/18,8 mg L⁻¹ de Fe²⁺ (sulfato ferroso, óxido de ferro e hidróxido de ferro)/emissor ↑/sólidos suspensos/solução concentrada

Aplicação (h)	Modelos																		
	H		I		J		K		L		M		N		O		P		
	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	UD	CV	
FASE 1	0	96,0	3,4	97,2	2,5	96,1	3,2	96,2	4,2	94,3	5,0	97,2	2,6	93,6	6,2	81,5	9,6	94,9	4,7
	72	95,2	4,1	90,5	9,6	96,9	2,6	91,3	8,2	93,9	5,5	96,8	3,0	93,8	5,1	88,2	9,6	91,1	8,0
	144	94,2	4,9	94,7	5,0	96,6	3,2	92,2	7,7	93,1	5,9	97,1	2,8	94,3	5,0	89,8	8,6	92,5	7,8
	216	96,1	3,6	95,8	3,9	93,4	7,7	93,3	5,5	93,4	5,3	96,2	3,3	95,1	5,2	88,2	9,9	92,2	7,4
	288	94,0	5,9	96,4	2,9	96,6	3,3	95,0	4,6	93,1	5,5	96,1	3,8	95,8	4,0	89,5	9,0	94,8	4,9
	360	95,1	4,5	96,1	3,1	95,9	4,8	94,2	5,0	96,7	3,3	96,2	3,6	95,4	4,5	88,9	9,4	93,7	5,6
FASE 2	432	91,2	8,6	94,4	4,6	96,8	2,7	95,7	4,5	93,6	4,9	97,4	2,5	95,9	4,1	84,8	11,8	96,1	3,4
	504	87,6	10,3	98,6	1,4	96,8	3,8	95,2	5,2	94,0	4,9	89,7	9,6	92,9	6,1	64,4	27,1	79,2	17,5
	576	76,7	23,7	97,4	2,2	97,1	2,6	95,1	5,2	93,4	5,4	83,6	14,4	95,3	4,7	48,8	44,8	53,3	40,3
	648	47,7	46,5	89,8	10,4	95,1	5,9	22,9	65,3	89,9	9,7	79,5	16,7	92,6	6,5	0,0	135,4	55,7	36,2
	720	33,3	54,2	97,2	2,8	95,4	4,8	78,6	20,2	90,6	7,6	39,7	52,8	95,1	4,6	0,0	202,3	0,0	70,4
	792	31,4	54,5	96,4	3,2	95,6	3,6	52,8	43,9	94,5	5,7	16,4	59,8	93,5	5,2	0,0	275,2	0,0	105,4
	864	0,0	69,7	94,2	4,7	94,7	4,9	48,8	44,3	94,4	4,7	14,6	61,8	93,8	5,3	0,0	272,9	0,0	107,8
	936	0,0	88,2	91,0	8,0	86,3	10,8	10,0	67,3	94,3	5,3	0,0	77,2	93,7	6,2	0,0	273,2	0,0	129,2
	1008	0,0	87,2	91,2	7,2	95,6	3,6	0,0	74,5	94,4	4,8	0,0	77,2	93,4	6,3	0,0	273,0	0,0	129,1
	1080	0,0	87,0	91,0	7,2	95,2	4,5	0,0	77,2	93,2	5,8	0,0	77,6	93,1	7,0	0,0	312,9	0,0	129,1
	1152	0,0	87,0	91,8	6,6	92,1	10,5	0,0	78,8	92,9	5,9	0,0	129,4	93,2	6,7	0,0	312,8	0,0	129,1
	1224	0,0	87,1	91,8	6,4	67,6	35,9	0,0	76,5	93,1	5,2	0,0	268,8	94,6	5,8	0,0	312,8	0,0	129,1
1296	0,0	87,1	92,3	6,2	95,2	4,5	0,0	154,1	70,5	32,7	0,0	0,0*	92,7	6,9	0,0	312,2	0,0	129,9	
1368	0,0	94,9	91,2	7,1	65,7	36,1	0,0	154,1	66,8	35,8	0,0	0,0*	90,6	8,0	0,0	310,6	0,0	316,2	

Anexo Q – Vazão Relativa (QR), expresso em %, dos gotejadores utilizados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Modelos	Aplicação (h)									
	0	72	144	216	288	360	432	504	576	648
	Vazão Relativa (%)									
1	100	139	108	65	104	162	160	162	143	144
2	100	105	109	96	106	117	85	111	104	101
3	100	99	90	87	92	86	90	111	96	94
4	100	105	104	109	96	99	103	108	98	90
5	100	101	102	98	98	106	82	80	81	71
6	100	98	97	99	99	102	103	101	96	89
7	100	104	102	104	101	104	103	104	100	109
8	100	104	103	96	100	99	95	96	86	83
9	100	104	100	97	100	96	94	89	86	89
10	100	95	95	92	93	96	90	93	88	85
11	100	105	104	100	87	81	68	72	71	73
12	100	105	103	93	105	105	98	96	75	29
13	100	110	106	103	115	117	97	94	89	98
14	100	100	92	92	97	98	102	93	89	72
15	100	109	103	103	95	106	97	99	85	71
16	100	110	102	87	89	78	78	73	68	60
17	100	102	102	104	108	105	98	108	100	104
18	100	100	95	101	106	107	105	96	79	49
19	100	104	89	97	97	0	0	0	0	0
20	100	101	97	93	97	96	92	106	85	90
21	100	96	95	88	94	102	81	92	63	0
22	100	100	91	92	103	93	89	86	80	67
23	100	99	102	84	94	78	58	66	54	69
24	100	112	111	147	200	187	128	88	125	139
25	100	101	101	102	99	102	95	100	105	106
26	100	101	94	88	69	51	81	66	60	58

Anexo R – Coeficiente de Variação de Vazão (CV), expresso em %, dos gotejadores utilizados no tratamento T5 - 20,0 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAB, do experimento B

Modelos	Aplicação (h)											
	0	72	144	216	288	360	432	504	576	648		
	Coeficiente de Variação de Vazão (%)											
1	17,6	23,8	15,9	41,7	21,9	30,6	20,0	16,0	37,5	66,2		
2	21,9	5,8	5,9	11,7	5,6	6,4	20,7	17,9	8,0	11,5		
3	35,3	35,6	35,3	35,6	36,3	52,6	35,7	35,2	41,1	39,0		
4	8,8	10,4	4,3	4,5	29,6	4,6	6,3	4,2	30,1	32,8		
5	6,2	5,1	5,8	7,1	3,2	5,3	11,0	16,2	13,3	51,8		
6	4,3	4,6	5,8	8,0	2,0	1,7	2,4	1,5	5,2	30,0		
7	4,2	7,7	5,0	5,1	3,6	5,1	6,9	6,7	8,0	18,7		
8	4,9	3,7	4,2	3,3	5,0	4,4	3,4	4,0	19,5	39,9		
9	3,8	3,3	6,9	3,0	2,7	4,9	11,0	21,4	25,8	10,8		
10	3,3	3,9	1,9	3,1	5,7	5,0	4,0	10,6	2,7	3,4		
11	35,1	35,1	35,1	23,9	50,9	53,8	76,5	67,7	68,6	68,7		
12	5,8	3,6	11,8	14,1	16,2	21,9	12,8	20,2	27,2	114,8		
13	4,5	3,0	7,4	7,4	1,5	2,1	8,2	9,2	9,1	5,1		
14	5,8	4,9	7,0	8,4	16,4	9,5	3,5	9,9	3,5	58,1		
15	4,4	7,0	4,6	8,7	4,5	4,9	3,7	4,4	18,6	50,2		
16	23,7	37,5	35,4	35,6	35,8	39,0	36,0	37,6	36,1	70,1		
17	10,4	8,9	8,9	9,5	11,6	12,4	12,1	13,3	17,1	15,7		
18	3,8	4,0	9,1	5,9	6,3	6,4	3,8	6,5	36,4	104,0		
19	68,8	67,5	102,3	67,2	72,3	0,0*	0,0*	0,0*	0,0*	0,0*		
20	3,4	3,1	4,8	4,8	3,6	2,3	4,1	3,3	5,0	10,1		
21	63,8	52,0	52,6	52,8	52,1	52,6	55,0	46,8	85,0	0,0*		
22	6,5	8,0	17,1	8,8	6,9	35,5	35,4	35,8	36,0	69,7		
23	93,9	99,6	95,5	120,8	107,4	103,6	138,2	123,7	159,3	50,1		
24	26,0	53,4	53,4	54,2	66,9	63,2	57,6	66,4	56,8	53,1		
25	3,7	3,3	2,5	2,0	2,6	2,1	10,3	2,6	5,4	19,1		
26	4,2	8,9	34,9	38,1	67,0	86,5	68,7	67,9	85,5	85,4		

*Todos os emissores entupidos

Anexo S – Vazão Relativa (QR), expresso em %, dos gotejadores utilizados no tratamento T6 - 20 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAG + sólidos suspensos (400 mg L⁻¹), do experimento B

Modelos	Aplicação (h)									
	0	72	144	216	288	360	432	504	576	648
					Vazão Relativa (%)					
1	100	81	79	71	71	70	42	65	52	57
2	100	103	98	93	100	109	92	96	88	82
3	100	101	94	100	100	106	99	102	97	100
4	100	101	102	105	99	88	108	104	101	108
5	100	90	98	90	95	105	82	84	89	91
6	100	96	96	103	101	102	103	101	91	97
7	100	97	100	98	91	104	92	101	88	83
8	100	103	103	98	103	103	100	102	97	100
9	100	99	99	99	100	101	103	92	94	87
10	100	100	99	99	100	90	100	100	93	96
11	100	101	92	95	93	92	88	82	91	92
12	100	98	126	116	144	134	130	112	90	73
13	100	110	101	94	85	88	92	88	80	87
14	100	97	87	93	86	83	88	77	71	84
15	100	110	101	98	94	97	92	82	74	68
16	100	134	114	88	106	64	83	77	67	104
17	100	97	101	95	88	87	90	93	93	96
18	100	103	94	110	110	112	111	98	95	89
19	100	93	90	86	86	86	74	94	79	58
20	100	103	100	95	97	92	100	98	97	94
21	100	130	105	105	112	118	105	121	115	118
22	100	99	96	98	101	96	99	94	100	101
23	100	103	111	109	105	90	72	133	79	85
24	100	278	207	236	282	-	-	-	-	-
25	100	99	95	98	99	77	94	93	94	98
26	100	90	92	80	78	54	91	76	64	66

Anexo T – Coeficiente de Variação de Vazão (CV), expresso em %, dos gotejadores utilizados no tratamento T6 - 20 mg L⁻¹ de Fe⁺² (hidróxido de ferro) + água LAG + sólidos suspensos (400 mg L⁻¹), do experimento B

Modelos	Aplicação (h)									
	0	72	144	216	288	360	432	504	576	648
					Coeficiente de Variação de Vazão (%)					
1	53,5	41,4	18,4	25,0	11,1	35,9	37,6	38,0	53,2	50,7
2	3,3	6,0	4,7	6,9	4,9	3,9	10,3	7,8	27,5	36,2
3	3,9	4,6	2,7	5,1	8,6	9,6	4,5	4,6	14,5	23,7
4	6,8	7,0	8,7	8,2	6,8	35,8	6,7	8,4	4,1	5,6
5	2,7	21,9	3,3	6,0	3,1	3,0	6,1	20,4	4,7	4,5
6	5,4	4,3	5,9	3,3	2,7	7,9	3,8	4,5	10,4	8,2
7	7,0	4,2	5,7	6,3	5,4	8,9	6,9	36,7	37,3	36,0
8	3,2	3,0	3,5	3,6	3,8	4,2	5,0	5,5	3,7	4,1
9	5,3	5,8	6,1	4,7	6,4	3,8	4,9	20,7	11,9	35,3
10	2,4	2,3	3,2	2,7	2,1	26,5	3,3	2,7	3,6	3,3
11	8,9	8,1	15,9	5,9	6,3	26,0	28,0	37,1	11,3	13,1
12	153,4	149,9	124,7	134,3	127,1	129,3	127,7	133,6	124,6	193,9
13	34,8	35,5	34,7	35,1	34,9	38,3	35,5	35,2	34,1	36,9
14	3,9	3,3	8,3	5,4	35,9	37,7	36,1	39,0	39,0	35,5
15	18,1	34,2	35,9	35,5	37,0	37,6	36,4	53,0	42,4	78,4
16	55,4	34,5	36,7	55,1	36,5	100,0	60,8	66,9	79,8	56,5
17	13,7	7,7	20,2	5,1	9,1	19,9	17,0	8,1	9,4	4,6
18	4,2	3,5	5,7	2,4	2,9	2,8	2,9	4,5	24,0	48,1
19	38,8	32,0	42,1	5,0	5,3	6,3	9,7	6,7	16,0	68,8
20	3,8	6,4	7,2	11,7	8,8	11,7	8,9	4,0	10,4	27,2
21	67,4	57,8	67,6	67,3	51,9	53,0	51,8	56,0	53,1	53,2
22	60,1	51,9	50,3	51,1	52,4	83,5	86,5	67,2	87,8	86,1
23	80,2	41,0	46,8	47,3	69,7	-	-	-	-	-
24	3,4	3,9	11,8	3,6	10,0	20,5	7,3	13,1	21,2	4,8
25	32,2	34,8	34,5	44,5	52,8	60,6	52,6	52,3	62,3	68,3
26	53,5	41,4	18,4	25,0	11,1	35,9	37,6	38,0	53,2	50,7