SUSCETIBILIDADE DE GOTEJADORES AO ENTUPIMENTO DE CAUSA BIOLÓGICA E AVALIAÇÃO DO DESENTUPIMENTO VIA CLORAÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

RONALDO SOUZA RESENDE
Engenheiro Agrônomo

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

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São
Paulo, para a obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Área de Concentração: Irrigação e
Drenagem

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro – 1999

ERRATA

- Página xii, Summary, linha 8, onde se lê “were”, leia-se “where”. Linha 9, onde se lê “tesyed”, leia-se “tested”.
- Página 2, parágrafo 1, linha 6, onde se lê “preferencias”, leia-se: “preferenciais”.
- Página 4, parágrafo 2, linha 1, onde se lê “a obstruções”, leia-se: “à obstruções”.
- Página 13, parágrafo 2, linha 6, leia-se “valores de uniformidade hidráulica...”
- Página 15, item 2.5., parágrafo 2, linha 2, a ordem correta é: gás cloro - Cl_2 , hipoclorito de cálcio - $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, e hipoclorito de sódio - NaOCl .
- Página 24, item 3.3.1., parágrafo 1, linha 6, não existe o ponto ao final da linha.
- Página 38, item 4.1.2., na última linha leia-se: “O gotejador Ram apresentou o melhor comportamento, mantendo o menor CV durante o período do ensaio (Tabela 8).”
- Página 39, parágrafo 1, linha 6, onde se lê “sendo superior apenas ao modelo Dripline”, leia-se: “sendo superior apenas o modelo Dripline”. Linha 8, leia-se: “. Pode-se observar que...”
- Página 41, parágrafo 2, linha 2, onde se lê: “...conforme se pode ser...”, leia-se “...conforme pode-se...”. Linha 4, onde se lê “Através das Figuras 7 e 8, onde são plotadas a vazão média por segmento da linha lateral...”, leia-se: “Através da Figura 8, onde são plotadas as vazões médias por segmento da linha lateral...”
- Página 45, parágrafo 2, linha 7, onde se lê “720 horas”, leia-se: “480 horas”. Linha 9, leia-se: “10% e 20% em 56% e 24%, respectivamente, dos emissores do modelo...”
- Página 54, parágrafo 1, linha 2, onde se lê: “... quando o gotejador apresentava 91 % e 92% de redução de vazão...”, leia-se: “...quando o gotejador apresentava 91 % e 92 % da vazão nominal...”. Linha 3, onde se lê “...tal redução era de apenas 97 %.”, leia-se: “...tal vazão era apenas 97 % da vazão nominal.”
- Página 58, parágrafo 1, linha 4, onde se lê “(Figura 16)”, leia-se: “(Figura 14)”. Parágrafo 1, linha 6, leia-se: “emissores com 10% de redução de vazão (Figura 16)”. Parágrafo 2, linha 2, onde se lê “(Figura 17)”, leia-se: “(Figura 14)”. Parágrafo 2, linha 4, leia-se: “para a dosagem de 150mg/L (Figura 17). No modelo Dripline (Figura 18), ...”. Parágrafo 2, linha 7, leia-se: “Tal tendência repetiu-se com mais evidência no gotejador Typhoon (Figura 20).”. Parágrafo 4, linha 2, leia-se: “observado no gotejador Tiran (Figura 19).”

- Página 69, onde se lê “Tabela 13”, leia-se: “Tabela 12”. O valor correto para o modelo SL, no tempo de operação de 720 horas é 94,2. Na linha 3 do rodapé da Tabela, onde se lê: “...Letras minúsculas...”, leia-se “...Letras maiúsculas...”.
- Página 70, onde se lê “Tabela 14”, leia-se: “Tabela 13”. Na linha 3 do rodapé da Tabela, onde se lê: “...Letras minúsculas...”, leia-se “...Letras maiúsculas...”.
- Página 71, onde se lê “Tabela 13”, leia-se: “Tabela 14”. Na linha 3 do rodapé da Tabela, onde se lê: “...Letras minúsculas...”, leia-se “...Letras maiúsculas...”.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Resende, Ronaldo Souza

Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação / Ronaldo Souza Resende. - - Piracicaba, 1999.

77 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999.
Bibliografia

1. Bactéria 2. Cloração 3. Entupimento 4. Gotejador 5. Irrigação por gotejamento l.
Título

CDD 631.7

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O Autor"

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a consecução desse trabalho. Em especial, agradeço:

Ao Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, pela sempre presente orientação;

À Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe - COHIDRO -, pela oportunidade para a realização do curso de Mestrado;

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP -, pelo apoio financeiro concedido à pesquisa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa - CNPq-, pela concessão da bolsa de estudo;

À Netafim do Brasil, pela doação dos tubo-gotejadores utilizados no ensaio.

A Prof. Dra. Sônia Maria De Stefano Piedade, pelo apoio no planejamento e execução da análise estatística do ensaio;

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica e Irrigação, Antônio, César e Hélio, pela ajuda prestada durante a implantação e condução do ensaio;

À família, pela compreensão e incentivo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	x
SUMMARY.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Natureza do entupimento de emissores.....	4
2.1.1. Qualidade da água.....	4
2.1.1.1. Aspectos físicos.....	5
2.1.1.2. Aspectos químicos.....	7
2.1.1.3. Aspectos biológicos.....	8
2.2. Prevenção do processo de entupimento.....	9
2.3. Recuperação de emissores entupidos.....	11
2.4. Entupimento de emissores e uniformidade de aplicação de água.....	12
2.5. O processo de cloração da água.....	15
2.6. Interações cloro - solo - planta.....	19
3. METODOLOGIA.....	22
3.1. Localização do experimento.....	22
3.2. Descrição da bancada de ensaio.....	22
3.3. Tratamentos e delineamento estatístico.....	24
3.3.1. Primeira fase do ensaio.....	24
3.3.2. Segunda fase do ensaio.....	25

	Página
3.4. Condução do ensaio.....	27
3.5. Procedimento de recuperação de emissores.....	29
3.6. Parâmetros avaliados.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. Processo de entupimento de emissores.....	31
4.1.1. Vazão média dos gotejadores.....	34
4.1.2. Uniformidade de aplicação de água.....	38
4.1.3. Vazão ao longo da linha lateral.....	41
4.1.4. Distribuição do entupimento.....	45
4.2. Recuperação de emissores com entupimento.....	52
4.2.1. Vazão média de gotejadores.....	52
4.2.2. Uniformidade de aplicação de água.....	54
4.2.3. Distribuição do entupimento.....	58
5. CONCLUSÕES.....	66
SUGESTÕES.....	67
ANEXO.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Visão geral da bancada de ensaio.....	24
2. Esquema geral do ensaio.....	26
3. Nível populacional de bactéria no período do ensaio.....	34
4. Temperatura da água do reservatório da bancada de ensaio, da água à temperatura ambiente e do ar no local do ensaio.....	34
5. Vazão média dos gotejadores no período do ensaio.....	38
6. Coeficiente de variação de vazão dos gotejadores, no período do ensaio.....	40
7. Correlação entre coeficiente de variação (CV) e coeficiente de uniformidade (CU).....	40
8. Vazão por segmento da linha de gotejadores, em função da época de amostragem.....	44
9. Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo Streamline, no período do ensaio.....	47
10. Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo Ram, no período do ensaio.....	48
11. Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo Dripline, no período do ensaio.....	49
12. Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo Tiran, no período do ensaio.....	50
13. Percentual do número total de gotejadores por faixa de redução de vazão, para o modelo Typhoon, no período do ensaio.....	51

	Página
14. Vazão média de gotejadores em função das doses e do número de aplicações de cloro.....	56
15. Coeficiente de variação (CV) de gotejadores em função das doses e do número de aplicações de cloro.....	57
16. Percentual do número total de gotejadores Streamline por faixa de redução de vazão em função das doses e do número de aplicações de cloro.....	60
17. Percentual do número total de gotejadores Ram por faixa de redução de vazão em função das doses e do número de aplicações de cloro.....	60
18. Percentual do número total de gotejadores Dripline por faixa de redução de vazão em função das doses e do número de aplicações de cloro.....	61
19. Percentual do número total de gotejadores Tiran por faixa de redução de vazão em função das doses e do número de aplicações de cloro.....	61
20. Percentual do número total de gotejadores Typhoon por faixa de redução de vazão em função das doses e do número de aplicações de cloro.....	62
21. Labirinto de passagem de água e área de filtragem dos gotejadores Strealine, Typhoon e Tiran	64
22. Representação do gotejador Ram, em corte transversal, evidenciando a elevação da entrada da água no emissor.....	64
23. Representação de fluxo turbulento no labirinto de um gotejador.....	65

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento.....	4
2. Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.....	6
3. Formas básicas, equações de reações do cloro e seus sais.....	17
4. Vazão excedente nas linhas de gotejadores e velocidade da água resultante...	23
5. Características operacionais dos gotejadores avaliados.....	27
6. Resultados de análises físico – químicas da água.....	33
7. Vazão média dos gotejadores em função do tempo de operação.....	37
8. Coeficiente de variação médio das vazões individuais dos gotejadores no período do ensaio.....	39
9. Diferencial de vazão entre o primeiro e do último quarto de segmento da linha de gotejadores, no período do ensaio.....	42
10. Contagem populacional de bactérias ao início e ao final da linha de gotejadores.....	43
11. Características do labirinto de passagem de água e do filtro de água, dos emissores avaliados.....	63
12. Análise de variância e teste de comparação de médias entre modelos de gotejador.....	69
13. Análise de variância e teste de comparação de médias entre tempos de operação do sistema.....	70
14. Análise de variância e teste de comparação de médias entre número de aplicações de cloro.....	71

RESUMO

Com o propósito de avaliar a suscetibilidade de cinco tipos de gotejadores ao processo de entupimento de origem biológica e a eficiência de diferentes doses de cloro na desobstrução por tratamento de choque de gotejadores, foi conduzido um experimento no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP. O ensaio foi dividido em duas etapas: na primeira, correspondente ao processo de entupimento, foram avaliados os seguintes modelos de gotejadores Netafim: Streamline 100, Ram 17L, Dripline 2000, Tiran 17 e Typhoon 20; na segunda etapa, correspondente ao processo de recuperação de emissores com entupimento, foram avaliadas as doses de cloro de 150 mg/L, 300 mg/L, 450 mg/L e 600mg/L. Para a primeira etapa, foi utilizado delineamento estatístico em blocos ao acaso, com teste F para a análise de variância e teste Tuckey para a comparação de médias, constituído por 5 tratamentos (modelo de gotejador) e quatro repetições. Na segunda etapa do ensaio, a análise estatística foi estruturada utilizando-se delineamento inteiramente casualizado, com 1 tratamento (modelo de gotejador) e 50 repetições (gotejadores). A água utilizada no ensaio foi proveniente de fonte hídrica superficial, utilizada para irrigação. Dessa água foram isolados 7 gêneros de bactérias e multiplicadas em meio de cultura, sendo eles utilizados para manter um nível populacional de bactéria no reservatório da bancada de ensaio, superior a 50.000 UFC/mL, através de inoculações efetuadas quando o número de células decaía desse patamar. Em intervalos de tempo de funcionamento do sistema de 240 horas, a vazão de cada gotejador era medida, totalizando 10 medições e um tempo total de 2160 horas de operação. Para os tratamento de recuperação dos emissores, foi utilizado o hipoclorito de sódio comercial (12%), como fonte de cloro, aplicado continuamente por

60 minutos e após isso, deixado o produto interagir por 12 horas na mangueira, sem fluxo na rede. Os parâmetros utilizados para a avaliação de desempenho dos emissores foram vazão média dos gotejadores, coeficiente de variação das vazões medidas e percentual do total de gotejadores, por faixa de redução de vazão. Os resultados obtidos apontaram diferenças entre os emissores avaliados quanto à ocorrência do entupimento, tendo os modelos Ram e Streamline apresentado os menores níveis de redução de vazão em relação aos modelos Tiran e Dripline. O uso do cloro em tratamento de choque na recuperação de emissores entupidos apresentou resultado diferenciado para as doses e os modelos avaliados, tendo sido notadamente mais efetivo nos modelos Tiran, Ram e Typhoon.

SUSCEPTIBILITY OF DRIPPERS FROM BIOLOGICAL CLOGGING AND RECOVERING PROCESS THROUGH WATER CHLORINATION

SUMMARY

An experiment was conducted at the Laboratory of Irrigation in the Department of Rural Engineering at ESALQ, in order to evaluate the resistance of different dripper designs from biological clogging and the use of different chlorine dosages in recovering the original flow rate for total and partial blockage emitters. The experiment was conducted in two phases: the first one is about the clogging process where five Netafim's dripper models: were evaluated (Streamline 100, Ram 17L, Dripline 2000, Tiran 17 and Typhoon 20). And the second phase related with the recovering process of blocked drippers, were four chlorine levels (150 mg/L, 300 mg/L, 450 mg/L and 600 mg/L) were tested, maintaining the irrigation water pH at 4.5. For the first phase, randomized complete block and split plot with 5 treatments and 4 replications was used and for the second phase, there were 4 experiment and completely randomized design was used with 5 treatments and 50 replications and subsequent experiments group analysis. In this way, 200 emitters for each model were analysed, with the total of 1000 emitters, spaced 0.11 m x 0.05 m. A regular water source for irrigation equipment was used with 7 genus and presenting a bacterial population about 50.000 bacteria/mL. In every 240h the flow of each emitter was measured. The total operation time was 2160 h. The experiment worked 16 hours a day and in cycles of 2 hours, with an hour of break. For the recovering experiment, sodium hypochlorite (12%), was used as chlorine supply. The chlorination process took place for 30 min and after this period the solution remained

inside the hose for 12 h without flow. Then the flow of each emitter was measured. Average flow, variation coefficient of average flows, percentage of number of emitters in range of flow reduction were the analysed parameters. The Ram and Streamline models were the models that presented the smaller flow rate reduction. For all kinds of models, except the Streamline, the chlorine improved the flow rate. For the Dripline model the chlorine treatment reduced the uniformity of application. Chlorine efficiency was increased after the second application for Tiran model and it was differentiated for number of applications, chlorine levels and dripper model.

1. INTRODUÇÃO

A partir do final da década de 70, o sistema de irrigação localizada começou a ser utilizado em áreas irrigadas no Brasil. O alto custo de implantação e uma limitada linha de produtos reprimiram uma maior adoção inicial do sistema. Apesar disso, as vantagens apresentadas pelo método, tanto no aspecto agrônômico, como do ponto de vista de eficiência hidro-energética, resultaram em aumento significativo de sua utilização, a partir da década de 90, principalmente com a entrada no mercado nacional de marcas já tradicionais internacionalmente, no campo da irrigação.

Uma característica inerente aos métodos de irrigação localizados é a pequena área de passagem da água nos emissores. Em função dos pequenos diâmetros de orifício, o entupimento dos emissores configura-se como um dos principais problemas relacionados ao método (Gilbert & Ford, 1986; Keller & Bliesner, 1990; Boman & Ontermma, 1994; Sagi et al., 1995; Pitts et al., 1996; Pizarro, 1996). Em nossas condições, uma combinação de fatores favorece o desenvolvimento de algas e bactérias nas águas utilizadas em irrigação localizada, tais como: predominância de temperaturas na faixa ótima para o desenvolvimento microbiano; uso freqüente da prática de fertirrigação, a qual se constitui em fonte de nutrientes para algas e bactérias; uso freqüente de águas de reservatórios e canais, os quais favorecem o crescimento populacional de algas e bactérias; altos índices de lançamentos de esgotos em rios que servem de fonte hídrica etc. A obstrução de emissores afeta a uniformidade de aplicação de água e, conseqüentemente, reduz a eficiência da aplicação de produtos químicos, via água de irrigação, na mesma proporção da redução de uniformidade de aplicação.

O entupimento parcial dos emissores, que se constitui o caso mais comumente encontrado em campo, apresenta o inconveniente adicional de não ser perceptível

visualmente, o que retarda a tomada de ação para o equacionamento do problema. Por constituir o principal inconveniente relacionado ao método de irrigação localizada, o entupimento de emissores tem recebido considerável atenção em países que fazem uso mais intensivo desse método, principalmente nos Estados Unidos e em Israel. No Brasil, poucos estudos têm sido conduzidos quanto ao potencial de risco, à prevenção e à recuperação de emissores entupidos; os existentes mais se relacionam ao bloqueio de filtros, e não à resultante na uniformidade de aplicação de água, pelo sistema de irrigação.

Os procedimentos de rotina com relação à filtragem da água utilizada, ou não são efetivos na prevenção do problema, ou podem até potencializá-lo. Os filtros de areia, por exemplo, podem constituir um meio adequado ao crescimento de algas filamentosas, reconhecidas causadoras de entupimento de emissores. Adicionalmente, águas com alta incidência populacional de algas e bactérias podem originar cimentação da areia dentro do filtro, resultante da formação de mucilagem, originando caminhos preferencias e reduzindo, assim, a eficiência de filtragem (Ravina et al., 1992).

✓ Diferentes gotejadores apresentam graus de suscetibilidade diversos ao entupimento, seja em função de características construtivas, hidráulicas ou de mecanismos próprios de autolimpeza. Nesse sentido, na perspectiva de utilização de fontes hídricas que apresentem condições críticas quanto a parâmetros de qualidade que envolvam entupimento de emissores, a escolha do tipo de emissor será fator decisivo no elenco de medidas a considerar.

O conjunto de medidas adotadas visando a reduzir ou a evitar o entupimento de emissores irá variar em função da fonte causadora do entupimento. A avaliação sistemática do sistema de irrigação, leituras periódicas de hidrômetros e o monitoramento da qualidade da água utilizada são de fundamental importância na implementação precisa de tais medidas.

Diversos trabalhos têm apontado para o fato de apenas a filtragem da água ser insuficiente para prevenir o entupimento de emissores (Nakayama & Bulks, 1986; Gilbert et al., 1982(a); Gilbert et al., 1979(b)). De modo geral, o elenco de medidas deve incluir o tratamento químico da água, sendo a acidificação e a cloração os tratamentos

mais utilizados para controlar o entupimento de origem biológica. A prevenção de entupimento causado por algas e bactérias é efetuado com aplicações de cloro, comumente na forma de hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio ou gás cloro. A aplicação pode ser efetuada de duas maneiras distintas: a) aplicação sistemática, utilizando baixas dosagens de cloro (1 a 10 mg/L de cloro livre), e b) aplicação de choque, fazendo uso de altas dosagens de cloro (100 a 600mg/L), na última meia hora ou uma hora de irrigação, deixando o sistema hidráulico desativado por pelo menos 12 horas. O uso de ácido no tratamento de emissores é normalmente efetuado com frequência semanal, utilizando o mesmo tempo da aplicação do cloro. De modo geral, o tratamento com utilização combinada de ácido e cloro apresenta vantagens, em relação ao uso exclusivo de ácidos ou cloro, tanto em termos de efetividade como também de economicidade. A dosagem, tanto de cloro como de ácido, a aplicar deve ser calculada especificamente para cada água, uma vez que diferentes águas apresentam específicas demandas por cloro e por ácido para atingir valores pré-determinados de cloro residual e pH.

Um aspecto a considerar na utilização do cloro refere-se ao efeito do tratamento na acumulação do íon cloreto, resultando em concentrações no solo acima das toleradas pela cultura irrigada. Teoricamente, as concentrações utilizadas no tratamento preventivo não são suficientes para causar toxidez às plantas, principalmente quando comparadas às quantidades de íons cloreto aportados através da adubação potássica, utilizando-se cloreto de potássio. O uso de superclorações, para a recuperação de emissores entupidos, no entanto, deve ser mais bem avaliado, principalmente em culturas sensíveis a esse íon.

Será objetivo deste trabalho avaliar a suscetibilidade de diferentes tipos de gotejadores, comumente utilizados no Brasil, ao entupimento de origem biológica e os principais microrganismos envolvidos, bem como avaliar a eficiência do processo de cloração, através de diferentes dosagens de hipoclorito de sódio, na recuperação de gotejadores total ou parcialmente entupidos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os sistemas de irrigação localizada apresentam, como característica hidráulica básica, a utilização de emissores que operam a baixas vazões, com a passagem da água ocorrendo através de orifícios de pequeno diâmetro (0,5 a 1,5mm). O entupimento de emissores constitui o principal problema associado à operação de tais sistemas. Se os emissores entopem em curto espaço de tempo, os procedimentos de recuperação elevam os custos de manutenção e podem ainda não ser efetivos, o que normalmente leva o irrigante a abandonar o sistema e a retornar a métodos de irrigação menos eficientes (Gilbert & Ford, 1986).

Uma classificação agrupa os emissores quanto à sensibilidade a obstruções, de acordo com o diâmetro mínimo de passagem de água, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento (Pizarro, 1996).

Diâmetro mínimo(mm)	Sensibilidade à obturação
$\leq 0,7$	alta
0,7 a 1,5	média
$\geq 1,5$	baixa

2.1. Natureza do entupimento de emissores

2.1.1. Qualidade da água

Em sistemas de irrigação localizada, além dos aspectos relacionados ao risco de salinidade e toxicidade, fatores principais na avaliação da qualidade da água para todos os

sistemas, procura-se também avaliar fatores que permitam antever o risco potencial de obturações em emissores.

Nakayama & Bulks (1986) reúnem as causas de entupimento de emissores em três principais grupos: biológica, química e física. A determinação da causa exata do entupimento de emissores pode ser complexa, uma vez que vários agentes na água podem interagir com outros, agravando o problema do entupimento (Ravina et al., 1992).

A ação química do enxofre, por exemplo, está normalmente associada à ação biológica de bactérias oxidantes desse elemento, ou, colocando de outra forma, microrganismos causadores de entupimento somente o fazem na presença de um agente químico, específico ou não. Sagi et al. (1995) observaram que *Berggiatoa alba*, uma bactéria oxidante de enxofre, somente se desenvolveu em tubulações e emissores quando a água continha sulfeto e oxigênio.

Na atualidade, não se dispõe de um método seguro para avaliar o risco de entupimento pelo uso de uma determinada água de irrigação. A dificuldade reside no fato de que alguns fatores intervenientes são variáveis, como a temperatura, que afeta a formação de precipitados e o desenvolvimento de microrganismos, e outros que não dependem somente da água mas também dos produtos que se adicionam, como fertilizantes (Pizarro, 1996).

No sentido de dar uma orientação de caráter quantitativo, Nakayama e Bulks (1980) citados por Gilbert & Ford (1986), propuseram uma classificação da água, indicando critérios para a avaliação do risco de entupimento de emissores, apresentados na Tabela 2.

2.1.1.1. Aspectos físicos

O entupimento de emissores devido a aspectos físicos relaciona-se principalmente à presença de partículas inorgânicas suspensas, como areia, silte e argila, succionadas pelo sistema de bombeamento. Partículas de origem orgânica também são freqüentes (formigas, lesmas, ovos de larvas etc.).

Tabela 2. Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação

Tipo de problema	Reduzido	Médio	Alto
Físico			
Sólidos suspensos – mg/L	<50	50 - 100	> 100
Químico			
pH	<7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos - mg/L	<500	500 - 2.000	> 2.000
Manganês - mg/L	<0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Ferro total - mg/L	<0,2	0,2 - 1,5	> 1,5
Ácido sulfídrico - mg/L	<0,2	0,2 - 2,0	> 2,0
Biológico			
População bacteriana - n°/mL	<10.000	10.000 - 50.000	> 50.000

Não é prático retirar todo o material presente na água, uma vez que seriam necessários filtros com malha excessivamente pequena. Adicionalmente, tais filtros podem tornar-se entupidos em curto espaço de tempo, aumentando excessivamente a necessidade de retrolavagem (Nakayama et al., 1986). No dimensionamento do sistema de filtragem, um dos critérios levado em conta é não permitir a passagem de partículas com diâmetros maiores que 1/10 e 1/5 do diâmetro do orifício do emissor, para gotejadores e microaspersores, respectivamente (Keller & Bliesner, 1990; Pizarro, 1996). Esse critério pode ser insuficiente, uma vez que partículas de argila que comumente conseguem passar através do sistema de filtragem, embora não constituam problema por si sós, podem sofrer processo de cimentação, através de mucilagem de algas filamentosas ou bactérias, causando obstrução física em emissores. Gilbert et al. (1979) observaram, em linhas secundárias de um sistema de irrigação por gotejamento, uma concentração de sólidos suspensos de 10 a 100 vezes maiores que a encontrada na captação no rio Colorado (EUA), resultado da agregação e de cimentação após, passarem por conjunto de filtros de areia e de tela de 200 mesh. A unidade mesh é definida como sendo o número de orifícios por polegada linear da tela, contada a partir do centro de um fio desta (Lopez et al. 1997).

2.1.1.2 Aspectos químicos

O entupimento de origem química em emissores relaciona-se principalmente à passagem de determinados elementos químicos de uma forma original 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. A condição de pH da água e a incompatibilidade entre fertilizantes são também responsáveis diretas por formação de precipitados químicos.

O cálcio constitui o principal responsável por entupimento em regiões áridas. A precipitação de carbonato de cálcio mostra-se freqüente em águas ricas em cálcio e bicarbonato (Gilbert & Ford, 1986). Com o intuito de antever problemas de obstrução de emissores, deve ser efetuada a análise química para o cálcio, o carbonato, o bicarbonato, o ferro e o manganês.

Com relação ao potencial de risco de obstrução pelo teor de cálcio na água de irrigação, Nakayama(1986) sugere a utilização do *Índice de Saturação de Langelier*, no sentido de prover uma aproximação sistemática para a determinação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio (CaCO_3). Esse Índice é baseado na diferença entre o pH medido e o pH calculado da água utilizada, este último relacionado com os teores de carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-), Cálcio(Ca^{2+}), concentração total de sais dissolvidos (SDT) e temperatura da água. Valores positivos indicam a possibilidade de ocorrência de formação de precipitados e a conseqüente obstrução de emissores (ESTADOS UNIDOS, 1965). Contraditoriamente, Capra e Scicolone(1998) estudaram o entupimento de emissores em 21 sistemas instalados com microaspersão e gotejamento, na região meridional da Itália, e observaram a redução no entupimento de emissores quando o valor do Índice de Saturação aumentava.

Alguns gêneros de bactérias filamentosas como, *Gallionella* e *Leptotrix*, oxidam Fe^{+2} , transformando-o em Fe^{+3} , que se precipita. Se a água contém mais de 0,1 ppm de enxofre total, bactérias como *Beggiatoa* e *Thiothrix* oxidam o SH_2 a enxofre elementar

insolúvel, que se deposita tanto no interior, como no exterior, dessas bactérias (Pizarro, 1996).

Problemas de interações entre bactéria e ferro têm ocorrido com concentrações desse elemento tão baixas quanto 0,1 mg/L. O ferro precipitado forma uma incrustação vermelha, a qual pode aderir ao PVC ou nos tubos de polietileno como também entupir completamente emissores. Da mesma forma, as bactérias podem interagir com enxofre em concentração maior que 0,1 mg/L e produzir uma massa branca cotonosa, a qual também pode provocar obstrução nos emissores (English, 1985).

2.1.1.3. Aspectos biológicos

O desenvolvimento de microrganismos no interior das instalações de irrigação talvez seja a causa mais freqüente de formação de obstruções, que se apresentam em qualquer ponto da rede, ainda que seu efeito mais prejudicial se produza nos emissores. Nesse fenômeno intervêm a presença dos próprios microrganismos, além de outros fatores como qualidade (conteúdo de Fe e SH₂, oxigênio e pH), temperatura da água etc. (Pizarro, 1996).

Análises biológicas detalhadas de emissores têm mostrado que os gêneros de bactérias mais comuns, relacionadas com entupimento de emissores, são *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Vibro*, *Brevibacterium*, *Micrococcus* e *Bacillus*. A ocorrência de *Bacillus* é ampliada pela filtragem em meio arenoso e em filtros de tela. Nesse caso, o filtro de areia, principalmente, proporciona um ambiente extremamente favorável para a atividade microbiana, mormente quando nutrientes e matéria orgânica estão disponíveis (Gilbert & Ford, 1986; Sagi et al., 1995).

Águas para irrigação provenientes de poços rasos freqüentemente apresentam problemas de qualidade. Actinomicetos e *Vitreoscilla*, gênero de bactéria filamentosa, são encontradas em profusão causando entupimento de emissores. Bactérias do gênero *Thiothrix*, oxidando enxofre, e dos gêneros *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Gallionella*, *Leptothrix*, *Toxothrix*, *Crenothrix* e *Sphaerotilus*, oxidantes de Fe²⁺, também são freqüentemente observadas (Gilbert & Ford, 1986).

Sagi et al. (1995) determinaram uma redução de vazão média de gotejadores de 38%, em relação à vazão inicial, em função da presença de mucilagem formada por colônias de protozoário (*Epystilys balanarum*). Houve uma redução de 57% na área de passagem do emissor. Segundo os autores, o desenvolvimento de protozoários foi a maior causa de entupimento em Israel, no período de 1988 a 1990.

Estudando o efeito de diâmetros de orifício de descarga sobre a taxa de entupimento de microaspersores, Boman (1995) observou que 20% dos emissores de 0,76 mm de diâmetro requereram limpeza, comparado a 14% dos de 1,02 mm; 7% dos de 1,27 mm e 5% dos de diâmetro de 1,52 mm. Para esse estudo, 46% dos casos de entupimento foram devidos a algas; 34% à obstrução por formigas e aranhas; 16% à obstrução por lesmas e 4% devido à obstrução física por partículas de areia e pedaços de PVC.

2.2. Prevenção do processo de entupimento de emissores

Gilbert (1979) ressalta que, a longevidade dos sistemas de irrigação deve ser maximizada, para assegurar uma relação custo/benefício favorável. Se os emissores entopem após um curto espaço de tempo, os procedimentos de recuperação irão adicionar custos de manutenção ao sistema, além de que poderão ser insuficientes em algumas circunstâncias. Após frequentes problemas de entupimento, os produtores poderão tornar-se desencorajados e retornar ao uso de métodos de irrigação menos eficientes. Através de entrevistas realizadas com irrigantes, representando 53 mil hectares com o cultivo de citrus no estado da Califórnia - EUA -, Boman & Ontermma (1994) detectaram um custo médio de prevenção do processo de entupimento de US\$ 60,00 por hectare.

Os métodos de prevenção do entupimento de emissores deverão envolver tanto aspectos relacionados ao manejo do sistema (filtragem, inspeção de campo, lavagem de redes de distribuição), como medidas de tratamento químico da água. O processo de filtração isoladamente não é suficiente para prevenir o entupimento de emissores, mesmo com a utilização de filtro de areia. No tratamento químico, a cloração é o processo mais utilizado. Outras substâncias utilizadas são: os ácidos clorídrico e

fosfórico, os sais de cobre, a amônia etc. As interações dessas substâncias, para cada situação, devem ser bem analisadas (Gilbert & Ford, 1986).

Ravina et al. (1992), trabalhando com 12 gotejadores de diferentes tipos e marcas comerciais, determinaram que o nível de entupimento foi similar tanto para filtragem a 80 mesh, como para a 120 mesh, sendo, no entanto, maior para a abertura de 40 mesh. Os autores também concluíram que as duas frequências de lavagens das redes laterais estudadas (semanal e bissemanalmente) não afetaram o desempenho das laterais e que o tratamento com cloro a 10 mg./L, efetuados semanalmente ao fim da irrigação, reduziu o entupimento.

Para o tratamento preventivo de bactérias formadoras de limo, English (1985) recomenda efetuar cloração em base contínua a uma taxa, de 1 a 2 mg/L, ou semanalmente a uma concentração de 10 a 20 mg/L por 30 a 60 minutos. Esta última dosagem é também recomendada pelo autor para o tratamento de algas. Adicionalmente, para o controle de algas em reservatórios é sugerido o uso de sulfato de cobre a uma concentração de 0,05 a 2,0 mg/L, dependendo da espécie de alga envolvida.

Sagi (1995), estudando o entupimento de gotejadores por bactérias oxidantes de enxofre, observou ser este um processo rápido, ocorrendo em poucos dias do início do ensaio. A injeção de hipoclorito de sódio a 10% ,por uma hora, à concentração de 10 mg/L de cloro livre, foi efetiva somente para curtos intervalos entre as aplicações. A vazão média dos gotejadores tratados com cloro diariamente ou a cada três dias foi 97% da vazão inicial, enquanto nos gotejadores-testemunha e nos que receberam cloro a cada 10 dias, a vazão declinou para 75% e 79%, respectivamente.

Gilbert et al. (1979) avaliaram diferentes tratamentos químicos para a prevenção do entupimento e concluíram que a injeção contínua de ácido sulfúrico, a uma concentração suficiente para manter o pH a 7,0 , não foi tão eficiente quanto a combinação de cloração contínua e tratamento com ácido. Chama a atenção, nesse trabalho, o elevado valor de pH estabelecido pelo autor, seja para o objetivo de aumentar a eficiência da cloração ou uso isolado de ácido no tratamento de emissores com entupimento.

Utilizando efluente secundário como fonte de água em Israel, cujo risco potencial para o entupimento de origem biológica se torna bem mais elevado, Tajrishy et al. (1994) concluíram que o uso de cloração intermitente de 2 mg/L de cloro livre residual durante a última hora de um ciclo de irrigação é tão efetivo quanto a cloração contínua a 0,4 mg/L de cloro livre residual, para a prevenção de formação de biofilme e de entupimento de emissores.

Uma abordagem mais recente para o tratamento preventivo do entupimento de origem biológica sugere o uso de inibidores químicos adicionados ao material plástico do emissor (Nakayama & Bulks, 1991), a exemplo do uso de herbicidas para o controle de intrusão por raízes em linhas de gotejadores que trabalham enterradas no solo. Com relação à utilização de emissores autolimpantes, esses 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. De outra forma, Jackson & Kay (1987) sugerem a utilização de emissores pulsantes, com vazões equivalentes até três vezes a vazão contínua, como forma de aumentar o diâmetro de passagem dos emissores sem alterar seu padrão de molhamento, diminuindo, assim, o risco de entupimento.

2.3. Recuperação de emissores entupidos

Padmakumari & Sivanappan (1985) avaliaram o uso de hipoclorito de sódio a 500 ppm, sulfato de cobre a 1% e ácido clorídrico a 2% para a recuperação de gotejadores entupidos e observaram que o tratamento com hipoclorito de sódio foi o mais efetivo para aumentar a vazão dos emissores. Do mesmo modo, English (1985) recomenda tratamento com cloro a uma taxa de 500 mg/L, para a recuperação de emissores severamente afetados por bactérias e algas.

Pizarro (1996) recomenda, para a recuperação de aspersores parcialmente entupidos a aplicação, durante 12 horas, de concentrações de cloro de 250 a 500 mg/L, seguida de lavagem das redes.

Emissores apresentando redução de vazão de 25% a 50% foram tratados por Nakayama et al. (1977) com a utilização de cloro, na concentração de 100 mg/L. Este

tratamento resultou em um retorno do funcionamento dos emissores a um nível de aproximadamente 95% da vazão inicial.

Superclorações de até 1000 mg/L foram citadas por Gilbert & Ford (1986), para a recuperação de emissores parcialmente entupidos. Tais autores ressaltam, porém, o risco de injúria às raízes das plantas. Adicionalmente, superdosagens podem afetar a membrana de borracha natural de emissores autocompensados.

2.4. Entupimento de emissores e uniformidade de aplicação de água

Nos sistemas de irrigação do tipo localizado, o vento, o principal fator determinante de redução da uniformidade de aplicação em aspersão convencional e pivô - central, deixa de ser significativo. Pequenas diferenças na fabricação dos emissores (Solomon,1979), além de variações na distribuição de pressão nas linhas secundárias e terciárias e temperatura da água (Parchomchuck,1976) intervêm na uniformidade de aplicação. A modernização nos processos de fabricação de emissores tem reduzido consideravelmente a variação de fabricação. A ocorrência de entupimento em emissores pode constituir a principal causa de desuniformidade em sistema de irrigação localizada.

Bralts et al(1981) propuseram, a partir do coeficiente de variação de fluxo do emissor, um coeficiente estatístico de uniformidade, o qual inclui o grau de entupimento de emissores. Tal coeficiente pode ser calculado conforme form. (1).

$$V_q = \{ n [\emptyset + p' (1-a')^2] / [\emptyset + p' (1-a')]^2 * V_Q^2 + 1 \}^{1/2} \quad (1)$$

onde:

V_q - Coeficiente estatístico de uniformidade considerando entupimento de emissores;

V_Q - Coeficiente estatístico de uniformidade sem entupimento de emissores

n - número de emissores avaliados;

$\emptyset$ - número de emissores sem entupimento;

a' - percentagem de redução na área de passagem do emissor;

p' - número de emissores parcialmente entupidos ;

O inconveniente dessa metodologia de avaliação de sistemas já instalados reside na dificuldade de mensuração de fatores como a' . Adicionalmente, os autores não definem o que consideram um emissor parcialmente entupido - p' . Na comprovação 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, através do uso de cola à saída do orifício de emissores, de forma uniformemente distribuída ao longo da lateral.

A metodologia proposta por Bralts (1986) para avaliação de sistemas de irrigação localizada permite analisar separadamente os efeitos da variação de pressão na linhas terciárias (uniformidade hidráulica) e variação devido às características dos emissores (variação de performance do emissor) na uniformidade de aplicação de água: uma combinação de baixos valores de uniformidade de emissão de água (U_s) com altos valores de uniformidade de uniformidade hidráulica baseada na distribuição de pressão (U_{sh}) e baixos valores de coeficiente de variação de performance do emissor (V_{pf}), indicam o entupimento de emissores como principal possível causa do baixo valor de U_s . As equações que expressam os coeficientes são:

$$U_s = 100\% (1 - V_{qs}) \quad (2);$$

$$U_{sh} = 100\% (1 - x \cdot V_h) \quad (3);$$

$$V_{pf} = (V_{qs}^2 - x^2 V_h^2) \quad (4);$$

onde:

V_{qs} - coeficiente de variação dos valores de vazão medidos;

V_h - coeficiente de variação dos valores de pressão medidos;

x - expoente de descarga do emissor

Um problema atualmente relacionado a essa metodologia é que a crescente utilização de redes de emissores com gotejadores integrados aumenta a dificuldade de avaliação da distribuição de pressão ao longo da linha e, conseqüentemente, da determinação de U_{sh} .

No sentido de dar um tratamento estatístico para o número de emissores apresentando um certo grau de entupimento, Capra & Scicolone (1998) propõem o cálculo da percentagem de emissores parcialmente entupidos como a percentagem de emissores testados, com uma vazão de campo, q_f , a qual é menor que a vazão calculada pela equação do emissor, q_c , excluindo os casos em que a q_f é igual a zero. A percentagem de emissores totalmente entupidos é calculada como a percentagem de emissores testados apresentando vazão igual a zero. Os autores calculam a percentagem estatística de emissores parcial e totalmente entupidos, ns , como sendo:

$$ns = 100 \, n_{1/4} / n \quad (5)$$

onde: n é o número de emissores testados no campo e $n_{1/4}$ é o número de emissores com $q_f < q_c(1-1,27 V_m)$. O fator $(1-1,27 V_m)$ ajusta para a desuniformidade causada pelo coeficiente de variação de fabricação, V_m .

Pitts et al (1998) avaliaram 174 sistemas de irrigação localizada, instalados no estado da Califórnia - EUA, utilizando o coeficiente de Uniformidade de Distribuição - UD, como estabelecido na eq. (04), e encontraram uma UD média de 70%, e 75% dos sistemas apresentando UD menor que 85%. Segundo os autores, a maior causa para esses baixos valores foi o entupimento de emissores e a deficiência na manutenção dos sistemas.

O entupimento de emissores resulta em variações na uniformidade de fluxo do emissor e na hidráulica da linha lateral. O entupimento de alguns emissores reduzirá a vazão total na linha lateral e dessa forma, reduzirá a perda de carga total na linha. A redução da fricção resultará no aumento da vazão de emissores não auto-compensáveis que não se encontrem entupidos (Bralts et al, 1982), afetando duplamente a uniformidade. Esses autores avaliaram a relação entre a variação da vazão da linha lateral e a taxa de entupimento, analítica e experimentalmente, e concluíram ser essa relação direta para linhas simples, mas não-verdadeira para laterais formadas por mangueiras do tipo Bi-wall (compartimento duplo).

Nakayama & Bucks (1981) desenvolveram um modelo de simulação, para avaliar a influência do entupimento em um sistema de irrigação por microaspersão. Para tal modelo, baseando-se em um coeficiente de variação de fabricação de 0,05 e no critério de permitir um Coeficiente de Uniformidade Absoluto (EU_a), proposto por Karmelli e Keller (1975), de 90%, o máximo nível de entupimento tolerável seria de 2 por cento para 2 emissores por planta; 4 por cento para quatro emissores por planta e 6 por cento para oito emissores por planta. Com o uso de dois a oito emissores por planta, a uniformidade foi acentuadamente reduzida quando 1 a 5% dos emissores se encontravam entupidos. Não se mostra claro, nesse trabalho, a quantificação do grau de entupimento individual do emissor.

Os trabalhos de Bralts (1982) e Nakayama & Bulks (1981) assumiram que o entupimento se dá de maneira uniformemente distribuída ao longo da linha lateral. Boman (1995) observou tal comportamento para o entupimento de origem física. Trabalho conduzido por Lau (1978), citado por Bralts (1982), utilizando efluente de esgoto tratado para irrigação de cana de açúcar, observou que a localização do entupimento ocorreu predominantemente no segmento final da linha lateral, seja simples ou de dupla câmara (Bi-Wall). Ravina et al. (1992), trabalhando com o entupimento de origem biológica, mostraram, igualmente, que os segmentos finais das laterais tendem a apresentar um maior grau de entupimento, em relação ao início da lateral de emissores.

2.5. O processo de cloração da água

A química e o princípio da cloração da água para fins de tratamento preventivo e/ou curativo dos processos de entupimento de emissores são similares àqueles aplicados ao tratamento de água para consumo humano, industrial e para piscinas. Nesse sentido, o entendimento da química do processo ajuda a evitar problemas potenciais do seu uso (Nakayama, 1986).

As principais formas de cloro aplicada no tratamento de água, em ordem decrescente de concentração do elemento, são: gás cloro- Cl_2 , hipoclorito de sódio - $NaOCl$ (12 -15%) e hipoclorito de cálcio- $Ca(OCl)_2$, com 65-70% de cloro. Dada a possibilidade de precipitação de compostos de cálcio em águas ricas em íons fosfato e

sulfato, esta última forma é, em geral, preterida. Embora o investimento inicial no equipamento de controle seja menor, é mais caro usar compostos como fonte de cloro do que usar cloro líquido (molecular). A diferença de custo diário do cloro aconselha estudar cuidadosamente cada aplicação, para determinar a economia relativa da solução de hipoclorito *versus* cloro gasoso (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA, 1964). Mais recentemente, Burt et al. (1998) relata o uso, por irrigantes da Califórnia - EUA, do hipoclorito de potássio (KOCl) como agente oxidante. Esse composto é produzido por equipamento em campo, a partir da eletrólise de uma solução de cloreto de potássio a 3%, originando uma solução de hipoclorito de potássio a 0,8%.

Quando o gás cloro, o hipoclorito de sódio ou o hipoclorito de cálcio são misturados à água, reagem com ela originando ácido hipocloroso, HOCl, e íon hipoclorito, OCl⁻, conforme Tabela 3, eq. (6) a (9). Ambas as reações são reversíveis e pH dependentes. A um pH de valor 5,0 ou menor, o cloro está presente na sua forma molecular. Quando o valor do pH esta entre 5,0 e 6,0, o cloro existe quase inteiramente como ácido hipocloroso. Acima de 6,0, os íons hipoclorito estão presentes, tornando-se predominantes acima de pH 7,5 (AWWA, 1964). Investigações têm mostrado que o ácido hipocloroso tem papel dominante no controle de bactéria (Nakayama, 1986). A esse respeito, Boswell (1990), citado por Burt et al. (1998), afirma que o ácido hipocloroso é 40 a 80 vezes mais poderoso como biocida que o íon hipoclorito. O maior poder germicida do ácido hipocloroso, em relação ao íon hipoclorito, é atribuído por White (1972), à sua facilidade em penetrar na parede das células, comparável à da água, em função do seu pequeno tamanho (baixo peso molecular) e de sua neutralidade elétrica. Tais características não são encontradas no íon hipoclorito, resultando em seu baixo poder desinfetante.

O ácido hipocloroso pode reagir com amônia, NH₃, íons amônio, NH₄⁺, e grupos amino, NH₂, os quais são partes integrantes da matéria orgânica, formando mono, di e tricloraminas, como apresentado na Tabela 3, eq. (10), (11) e (12). Adicionalmente, o ácido hipocloroso pode reagir com íons de ferro ferroso, Fe²⁺, oxidando-o a Fe³⁺, o qual poderá precipitar-se nas linhas do sistema de irrigação, conforme a Tabela 3, eq. (13) e (14). Reação similar poderá ocorrer com o ácido sulfídrico, H₂S, presente

principalmente em águas subterrâneas, formando enxofre elementar, como se vê na Tabela 3, eq. (15) e (16), também causador de entupimentos em irrigação localizada.

A hipótese inicialmente aceita para explicar a ação bactericida do cloro era que este reagia diretamente com a água para produzir oxigênio nascente, o qual, por sua vez, tinha um efeito final bactericida, por sua ação sobre a célula. Posteriormente a teoria aceita relacionava-se a uma ação físico-química: a parede da estrutura da célula e o conteúdo da mesma possuem proteínas e grupos amino, com os quais o cloro reage, causando desintegração da parede. Green & Stumpf (1946), citados por White (1972), sugeriram que o cloro poderia inibir o processo enzimático de oxidação da glicose pela célula bacteriana, causando sua morte. Mais recentemente, Haas & Engelbrecht (1980), em citação de Guglielmone et al. (1999), propuseram que a ação do cloro está relacionada com reações letais na membrana celular, afetando o DNA da célula por produzir mutação das bases púricas e pirimidicas.

Tabela 3. Formas básicas, equações de reações do cloro e seus sais (Nakayama, 1986).

$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{HOCl}$	(6)
$\text{HOCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OCl}^-$	(7)
$\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^- + \text{HOCl}$	(8)
$\text{Ca(OCl)}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- + 2\text{HOCl}$	(9)
$\text{HOCl} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$	(10)
$\text{HOCl} + \text{NH}_2\text{Cl} \rightarrow \text{NHCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	(11)
$\text{HOCl} + \text{NHCl}_2 \rightarrow \text{NCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$	(12)
$\text{HOCl} + 2\text{Fe}^{2+} + \text{H}^+ \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	(13)
$\text{Cl}_2 + 2\text{Fe(HCO}_3)_2 + \text{Ca(HCO}_3)_2 \rightarrow 2\text{Fe(OH)}_3 + \text{CaCl}_2 + 6\text{CO}_2$	(14)
$\text{HOCl} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S}^{\circ\downarrow} + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	(15)
$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S}^{\circ\downarrow} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^-$	(16)

Na operacionalização do processo de cloração, alcançar um conteúdo específico de cloro livre residual¹ na água de irrigação envolve tentativa e erro. A obtenção de 1 mg/L de cloro residual livre necessitará uma mais alta taxa de injeção que aquela baseada em cálculos de concentração. Isso em função de diferenças na demanda por cloro inerente a cada tipo de água. O cloro pode reagir com a matéria orgânica suspensa, com partículas do solo, ou com outros constituintes dissolvidos, além de com bactérias. Se o ácido sulfídrico está presente na água, serão necessários 2 mg/L de cloro para reagir com 1 mg/L desse ácido. Para o ferro ferroso, Fe^{2+} , 1 mg/L de ferro irá requerer 0,6 mg/L de cloro (Nakayama, 1986).

A demanda de cloro da água é a diferença entre a quantidade de cloro aplicado e a de cloro livre, combinado ou total, disponível, permanecendo ao fim de um tempo de contato. A demanda de cloro da água varia com a quantidade de cloro aplicado, com tempo de contato, com o pH, com a temperatura (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, 1992b) e das substâncias orgânicas e inorgânicas presentes. Na medida que a dose de cloro é elevada, o cloro residual combinado disponível também aumenta. Esse crescimento irá continuar até que o residual comece a decrescer, indicando a oxidação de cloraminas e outros de compostos clororgânicos. Quando a oxidação é completada, haverá uma posterior elevação do cloro residual, e o cloro estará na forma de cloro livre disponível, sendo este ponto denominado “break point” (Al-Layla, 1977). Uma importância prática, relacionada a esse fenômeno refere-se ao fato experimentado em estações de tratamento de água, em que o poder germicida do cloro, a partir do “break point” é 25 vezes maior que antes dele (White, 1972). O requerimento de cloro em determinada água não é um valor absoluto que possa ser usado para comparar os resultados de lugar para lugar e de período para período. Mais que isso, é uma aproximação prática para controlar a cloração (APHA, 1992b).

¹ As denominações cloro livre disponível, cloro combinado disponível, residual de cloro livre disponível e residual de cloro combinado disponível se referem ao cloro existente na água como ácido hipocloroso e íons hipoclorito, ao cloro sob combinação química com a amônia ou compostos orgânicos do nitrogênio, ao cloro residual como ácido hipocloroso e íons hipoclorito e ao cloro residual em combinação com a amônia ou com compostos orgânicos do nitrogênio, respectivamente (AWWA, 1964).

Qualquer mudança que reduza o potencial de oxidação do cloro, como suas reações com a amônia ou derivados dela, para formar residuais de cloro combinado, reduz a proporção com que ele reage com as células bacterianas o que decresce sua eficácia como agente desinfetante. A eficácia bactericida do cloro e de seus compostos depende dos mesmos fatores que regulam sua ação química: tempo de reação, temperatura, concentração de íons hidrogênio e concentração de compostos ávidos por cloro (AWWA,1964).

O cloro em solução aquosa não é estável e o conteúdo do cloro da amostra decresce rapidamente. Exposição à luz do sol, ou agitação, aceleram a redução de cloro. Dessa forma, a determinação deve ser iniciada imediatamente após a amostragem, evitando luz excessiva e agitação (APHA,1992c). A determinação em campo é usualmente feita através de métodos colorimétricos, utilizando kits - teste, comumente utilizados em piscinas e baseados em indicadores, como a ortotolidina ou o Di-etil, di-Phenil, Di- amina, DPD.

A cor e a turbidez da amostra podem interferir em todos os métodos colorimétricos, a menos que se faça uma compensação para elas. Contaminantes orgânicos podem produzir uma falsa leitura de cloro livre na maior parte dos métodos colorimétricos (APHA,1992c)

Apesar da simplicidade e da suficiente precisão, o teste da ortotolidina apresenta duas limitações básicas: primeiro, não distingue, de maneira adequada, o cloro residual e certas substâncias interferentes que podem estar presentes na água; e segundo, não distingue, perfeitamente, as formas sob as quais o cloro residual se apresenta (AWWA, 1964). Devido a isso, o método, o qual tem sido largamente utilizado, foi descartado como método padrão. Alguns agentes oxidantes, incluindo outros halogêneos presentes na água, aparecerão quantitativamente como cloro livre, o que também é verdadeiro para dióxido de cloro e tricloramina (APHA,1992c).

2.6. Interações cloro - solo - planta

O tratamento da água de irrigação, com a utilização de cloro nas suas diversas formas, resulta na obtenção de um residual de cloro livre, além daquele combinado com

os diversos compostos por ele oxidados. Tal residual será somado ao cloro, como íon cloreto, já presente na água de irrigação, bem como na solução do solo, dada as quantidades aplicadas através de fertilizantes. A interação desse íon com a matriz do solo, o qual definirá o grau de mobilidade e o conseqüente nível de acumulação, afetará diferentemente os cultivos, estando esta influência mais relacionada à ocorrência de toxidez que à deficiência do elemento.

Os sintomas da toxidez ocasionada pelo excesso de cloro manifestam-se, primeiro, nas pontas das folhas, para logo deslocar-se, à medida em que progride a toxidade, ao longo das bordas. Em culturas sensíveis, esses sintomas se manifestam quando se alcançam concentrações de 0,3% a 1% com base no peso seco das folhas (Ayers & Westcot, 1991).

Teixeira et al. (1979a) conduzindo estudos em solução nutritiva, observaram que concentrações de cloro a partir de 15 meq/L causaram sintomas visuais de toxidez na cultura do pimentão. Teores de cloreto acima de 15 meq/L foram também prejudiciais para a cultura da alface, cultivada em solução nutritiva, a qual apresentou sintomas de folhas coriáceas, enroladas para dentro e de queima das bordas (Teixeira et al., 1980b). Esse mesmo valor foi encontrado por Teixeira & Dantas (1986), para a cultura do amendoim, também em ensaios com solução nutritiva, apresentando prejuízo significativo de produção e severa redução na nodulação do sistema radicular da cultura. Birgham et al. (1968) relatam também o valor de 15 meq/L como sendo limitante para a cultura do abacateiro. Tais autores observaram uma rápida e elevada acumulação do cloro nas folhas e uma relação linear entre o teor de cloro na folha e no substrato, para concentração de até 15 meq/L de Cl^- no substrato.

Na cultura do cafeeiro, Catani et al. (1969) analisaram teores de cloreto na folha, em função de diferentes dosagens de cloreto de potássio, aplicado via solo, e observaram valores de até 5.149 ppm sem que se apresentassem sintomas visuais de toxidez.

Valores do teor de cloreto permissíveis na água de irrigação foram indicados por Ayers & Westcot (1991) na faixa de 5 a 27 meq/L. Lima (1997) afirma que concentração de cloreto na água de irrigação abaixo de 70 ppm (2 meq/L), não é problemática para todas as culturas, sendo 70 a 140 ppm (2 a 4 meq/L) a faixa que

apresenta danos moderados nas folhas, para culturas sensíveis. Este autor afirma, ainda, que o tratamento convencional da água com cloro não induz efeitos maléficos às plantas, pois os níveis situam-se em torno de 1 mg/L. Assumindo que, na técnica do extrato de saturação a solução do solo é diluída aproximadamente 3 vezes, Birgham et al. (1968) sugerem que um valor de 5 meq/L de Cl^- , no extrato de saturação, representaria a concentração limite para a cultura do abacateiro. Por extensão, poderia o valor ser utilizado para as culturas do pimentão, da alface e do amendoim, as quais apresentam a mesma faixa de tolerância do abacateiro a níveis de cloreto, em solução nutritiva.

3. METODOLOGIA

3.1. Localização do experimento

O ensaio foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Irrigação e Drenagem, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, localizada no município de Piracicaba - SP, no período de maio a outubro de 1999. O clima é classificado como Cwa - subtropical úmido, segundo classificação climática de Köppen, temperatura média máxima superior a 22° C e média mínima de 18° C, ocorrendo chuvas de verão e secas de inverno. O trabalho foi estruturado em duas fases distintas: na primeira avaliou-se a suscetibilidade de cinco tipos de gotejadores ao entupimento de origem biológica; na segunda, avaliou-se a eficiência de diferentes dosagens de cloro no tratamento de choque para recuperação de emissores, apresentando entupimento total ou parcial.

3.2. Descrição da bancada do ensaio

Para a condução do ensaio, construiu-se uma bancada em madeira (Figura 1) com dimensões de 6m de comprimento x 1,3 m de largura e 1,45 m de altura, onde foram instaladas as linhas de gotejadores. Cada uma delas foi composta por 50 gotejadores, o que resultou na avaliação de um total de 200 gotejadores de cada modelo. Para isso, as mangueiras com o espaçamento original entre emissores foram cortadas e remontadas, utilizando uniões de mangueira, resultando em um espaçamento único entre gotejadores, de 0,11 m para todos os modelos. A água, após passar através dos gotejadores, era recolhida por uma calha que a reconduzia ao tanque de captação, constituindo, assim, um sistema de recirculação de água. No sentido de agilizar a medição da vazão direta

dos gotejadores, montou-se uma estrutura de madeira, a qual permitia a inserção de uma bateria de 50 provetas graduadas de 250ml.

A pressão de serviço foi mantida em 100 ± 10 kPa, por meio de válvula reguladora de pressão, colocada à entrada da linha principal de bombeamento da bancada. Foram instalados hidrômetros na linha principal e à entrada de cada bloco de linhas de gotejadores, para auxiliar no monitoramento das vazões das laterais de gotejadores, agrupadas em bloco.

Ao final de cada linha de gotejadores, instalou-se um registro de gaveta, com o objetivo de regular a vazão na lateral para um valor médio, aproximadamente igual ao que seria encontrado no terço final de uma linha lateral em nível, com emissores idênticos, igualmente espaçados (Esp.) e comprimento máximo, para uma variação de vazão de 10% ($L_{max.}$). Tal procedimento visa a proporcionar vazões nas laterais compatíveis com aquelas normalmente encontradas em campo, evitando velocidades (V) excessivamente baixas. A subtração entre a vazão existente no terço final da linha acima caracterizada ($1/3Q_1$) e a vazão resultante dos emissores do ensaio (Q_2) resulta na vazão excedente (Q_3) que passava através dos registros, sendo esse cálculo efetuado para cada modelo, conforme apresentado na Tabela 4. Durante a medição, o registro colocado no final de cada linha de emissores, era fechado no sentido de não interferir no valor da pressão daqueles emissores localizados próximos aos mesmos.

Tabela 4. Vazão excedente nas linhas laterais de gotejadores e velocidade da água no interior das linhas de polietileno, na bancada

Modelo	Situação de campo			Bancada de ensaio		
	L máx.(m)	Esp. (m)	$1/3Q_1$ (L/h)	Q_2 (L/h)	$Q_{3exc.}$ (L/h)	V (m/s)
SL 100	65	0,15	231	80	151	0,32
RAM 17L	101	0,3	258	100	158	0,42
DL 2000	62	0,2	206,6	100	106	0,31
TR 16	151	0,85	118,0	100	18	0,30
TY 20	58	0,15	225	87,5	137,5	0,33

Figura 1. Visão geral da bancada de ensaio (A) e (B); detalhe das mangueiras remontadas por conectores, alinhadas por meio de cabo de aço e com barbantes para direcionar as gotas nas provetas (C) e bateria de provetas usadas na determinação da vazões individuais dos gotejadores (D).

3.3. Tratamentos e delineamento estatístico

3.3.1. Primeira fase do ensaio

Foram avaliados 5 diferentes famílias de gotejadores, da marca comercial Netafim, comumente utilizados em sistemas implantados no Brasil, operando na segunda maior vazão especificada pelo fabricante. Foram eles: Ram 17L (RAM), Streamline 100 (SL), Tiran 17 (TR), Typhoon 20 (TY) e Dripline 2000 (DL). O modelo Dripline 2000 recebe, em alguns países, a denominação Typhoon 32, sendo ambos equivalentes. Todos os emissores utilizados apresentaram coeficiente de uniformidade.

de fabricação - $CV < 5\%$. Os dados operacionais relativos a cada modelo de emissor utilizado encontram-se na Tabela 5.

A parcela experimental consistiu de uma linha lateral, com gotejadores espaçados a 0,11 m, totalizando um comprimento de 6m (50 emissores por linha). Cada linha de gotejador foi composta por apenas um modelo, conforme esquematizado na Figura 2. Foi adotado um delineamento estatístico em Blocos Casualizados em parcelas subdivididas, sendo tempo de operação a sub-parcela, com cinco tratamentos (modelos de gotejadores) e quatro repetições e utilização dos testes “F” para a análise de variância e Tuckey, no nível de 5% de probabilidade, para comparação de médias. Apesar da existência de um alto grau de controle local, o que possibilitaria a utilização de delineamento do tipo inteiramente casualizado, optou-se estruturar o ensaio em blocos casualizados, visando a possibilitar a avaliação de diferentes doses de cloro, como tratamento, na segunda fase do ensaio.

3.3.2 Segunda fase do ensaio

A segunda fase do ensaio, iniciada imediatamente após o final da primeira, consistiu na avaliação da eficiência de diferentes dosagens de cloro na recuperação dos gotejadores que apresentassem entupimento total ou parcial. Para cada bloco, composto por cinco linhas dos diferentes gotejadores, foram efetuadas duas aplicações de dosagens de 150 mg/L, 300 mg/L, 450 mg/L e 600 mg/L de cloro. Cada bloco representou um ensaio inteiramente casualizado, contando com 5 tratamentos (modelo de gotejador) 50 repetições (número de gotejadores na linha). Os resultados dos parâmetros avaliados, obtidos após a cloração, foram comparados com aqueles referentes à última leitura de dados, obtida na primeira fase do ensaio.

Figura 2. Esquema geral do ensaio

Tabela 5. Características operacionais dos gotejadores estudados.

Cód.	Modelo	Q (L/h)	H (kPa)	orif.(mm)	Parede(mm)	Ø int. (mm)
SL 100	STREAMLINE 100	1,60	100	0,53	0,25	16,0
RAM 17	RAM 17 L	2,30	100	1,04	0,62	14,6
DL 2000	DRIPLINE 2000	2,00	100		0,90	15,2
TR 16	TIRAN 17	2,00	100	1,38	1,20	14,6
TY 20	TYPHOON 20	1,75	100	0,71	0,50	15,4

3.4. Condução do ensaio

Na primeira fase do ensaio, conduzida com duração de 4 meses, e totalizando 2160 horas de funcionamento do sistema, acompanhou-se o processo de entupimento, em função dos diferentes tipos de emissores. Em uma segunda fase, cada bloco de tratamentos recebeu uma dosagem de cloro, a qual passou a constituir o tratamento estatístico.

A operacionalização do funcionamento da bancada, quanto ao horário de início e de parada, foi efetuada através de um controlador de irrigação, marca Motorola, modelo Miracle 9, o qual foi utilizado no acionamento do conjunto motobomba elétrica, visando um funcionamento em 8 ciclos diários, com duração de duas horas cada e intervalos de descanso de 1 hora, totalizando 16 horas por dia. Os horários estabelecidos foram: 00:00 as 2:00; 3:00 as 5:00; 6:00 as 8:00; 9:00 as 11:00; 12:00 as 14:00; 15:00 as 17:00; 18:00 as 20:00 21:00 as 23:00, para todos os dias da semana.

As medições individuais da vazão dos gotejadores foram efetuadas quinzenalmente, correspondendo a intervalos de 240 horas de funcionamento do sistema, totalizando dez medições no período do ensaio. Ao efetuar a medição das vazões com o uso de bateria de provetas, cada gotejador era cuidadosamente observado, no sentido de não permitir interferência de vazões provenientes de gotejadores adjacentes e/ou pontos de conexão. Barbantes foram utilizados para isolar a vazão de cada gotejador e, então, os volumes eram coletados por um período de tempo de 5

minutos. Uma calha retangular de PVC, cortada ao meio, foi utilizada para cobrir, ao mesmo tempo, a bateria de provetas no momento da leitura.

À entrada de cada bloco do ensaio, foi instalado uma tomada de pressão, permitindo que a cada medição de vazão a pressão fosse checada e, se necessário, ajustada àquela preestabelecida. Para a medição da pressão de serviço, à entrada da linha de emissores, utilizou-se um manômetro tipo bourdon, o qual foi aferido mensalmente. O manômetro utilizado não apresentou erro, em escala crescente ou decrescente, durante toda a fase do ensaio, o que dispensou o uso de equação de ajuste para o mesmo.

Com o objetivo de monitorar o nível de aquecimento da água, na bancada do ensaio, devido à recirculação da água no sistema e evitar temperaturas acima do ótimo para o crescimento bacteriano, foram efetuadas leituras diárias da temperatura da água na bancada do ensaio, da água em equilíbrio com o ambiente e da temperatura do ar no local do ensaio. As medições foram efetuadas sempre às 11:00, após a parada do sistema, durante toda fase do ensaio. Em caso de elevações na temperatura acima de 30°C, ventiladores seriam acionados e direcionados abaixo das calhas de aço galvanizado, com o objetivo de reduzir a temperatura da água.

Mensalmente e ao final do ensaio foram removidos emissores, independente do modelo, apresentando maior grau de entupimento e analisados em laboratório para identificação genérica dos organismos formadores de mucilagem; o tempo decorrido entre a coleta do emissor e a inoculação em placa de petri não era maior que duas horas. Nesse período, as amostras eram mantidas em recipiente térmico com gelo.

Mensalmente foram efetuadas coletas de água, à saída dos gotejadores, para fins de análise de pH, condutividade elétrica, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , e sólidos suspensos.

A água utilizada durante o ensaio proveio de lago utilizado como fonte d'água para um projeto de irrigação por gotejamento, no município de Sumaré - SP. Após contagem da população bacteriana existente, foram isolados 7 diferentes gêneros não identificados de bactérias e multiplicados em meio de cultivo. A cada dois dias, era efetuada uma contagem populacional da água coletada nos tanques da bancada de ensaio. A determinação da população bacteriana foi efetuada através do método de

contagem em placa de petri (HPC), utilizando agár (triptona, glucose, extrato de levedura e agár) como meio de cultura e tempo para contagem de 48 horas. (APHA, 1992a). Quando o nível populacional decrescia abaixo do mínimo preestabelecido, meio de cultura, com o conjunto de bactérias isoladas, era inoculado. Dessa forma, procurou-se manter a população bacteriana no reservatório do ensaio acima de 5×10^4 unidades formadoras de colônia (UFC), por ml de água.

3.5. Avaliação de procedimentos de recuperação de emissores

Com o objetivo de avaliar procedimentos de recuperação de gotejadores total ou parcialmente entupidos, foram aplicadas quatro dosagens de cloro no tratamento de água. Nessa fase, adotou-se uma configuração em que cada bloco do ensaio, definido aleatoriamente, recebeu uma dosagem de cloro, a qual passou a constituir tratamento. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos ao final da primeira fase do ensaio. Os tratamentos consistiram de aplicações de cloro a concentrações de 150 mg/L, 300 mg/L, 450 mg/L e 600 mg/L, na forma de hipoclorito de sódio 12%. Para cada dosagem estudada, foram efetuadas duas aplicações consecutivas. Efetuou-se o preparo da solução em um segundo reservatório, integrante da bancada de ensaio, com circuito de água próprio para a aplicação. Durante o tempo de aplicação, estabelecido em 1 hora, o pH da solução foi monitorado e mantido a um valor de 5,5 a 6,0, através da adição de ácido fosfórico 58%, com o objetivo de aumentar a proporção de ácido hipocloroso (maior poder germicida). Após a aplicação, as linhas que receberam o tratamento eram deixadas em repouso por 12 horas. Após esse período efetuava-se a lavagem das redes através da abertura dos registros instalados nos finais de cada linha e, logo a seguir, procedia-se à leitura das vazões individuais dos gotejadores.

Para efeito de monitoramento, amostras de água ao final das laterais foram tomadas para determinação do teor de cloro livre, utilizando-se kits de medição usados no tratamento de piscinas, com a necessária diluição para atingir a faixa de leitura do kit, a qual é de 1 a 5 mg/L.

3.6. Parâmetros avaliados

Para efeito de avaliação da performance dos emissores e da eficiência dos tratamentos foram analisados os seguintes parâmetros:

- a. Vazão média dos emissores, no período do ensaio, expressa como um percentual do valor nominal.
- b. Percentual do número total de emissores, para cada modelo, por faixa de redução de vazão, sendo essas faixas estabelecidas como: < 5%, 5 - 15%, 15 - 25%, 25 - 35%, 35 - 45%, 45 - 55%, 55 - 65%, 65 - 75%, 75 - 85%, 85 - 95% e >95% da vazão nominal do gotejador.
- c. Coeficiente de variação de vazão de emissores individuais ($Cv_e = 100 \text{ sd}/q_m$), onde sd é o desvio padrão das vazões medidas e q_m , a vazão média dos gotejadores.
- d. Variação de vazão, ao longo da linha de gotejadores, correspondendo a avaliação dos 1º, 2º, 3º e 4º segmentos da linha de emissores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Processo de entupimento de emissores

Os resultados do ensaio serão apresentados e discutidos, com respeito à qualidade da água utilizada e aos parâmetros indicadores de obstrução dos gotejadores avaliados.

A água utilizada no ensaio, tem suas principais características físico-químicas apresentadas na Tabela 6. A coleta inicial, realizada em Sumaré - SP, para fins de caracterização, foi efetuada diretamente no lago, sendo as demais análises feitas já com a água do reservatório da bancada de ensaio, o que, em parte, pode explicar as diferenças encontradas para alguns parâmetros avaliados. Com respeito aos parâmetros mais diretamente relacionados ao risco potencial de causar entupimento, observa-se que, na fonte utilizada, os teores de 0,05 mg/L de Fe^{2+} , 0,01 mg/L de Mn e 2 mg/L para sólidos em suspensão encontram-se bem abaixo dos valores indicados como limite de risco mínimo por Bucks e Nakayama (1980), citados por Gilbert e Ford (1986). A contagem bacteriana, na análise de caracterização da água, resultou em valor de $3,5 \times 10^3$ UFC/mL, a qual se configura, também, como de baixo risco ao entupimento de emissores.

O *Índice de Saturação de Langelier* (SI), determinado com base nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- e CO_3^{2-} , utilizados para calcular o pH da água, se ela estivesse em equilíbrio químico com CaCO_3 , a uma determinada concentração dos íons cálcio e bicarbonato, pH_c , e no valor do pH medido, foi utilizado no sentido de prover uma aproximação sistemática para a determinação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio (ESTADOS UNIDOS, 1965). O SI calculado para a água utilizada no ensaio resultou em valor negativo, indicando não haver tendência de precipitação de

carbonato de cálcio e conseqüente potencial de entupimento por tal elemento químico. Capra e Scicolone (1998), avaliando o entupimento de emissores em 21 sistemas instalados com microaspersão e gotejamento na região meridional da Itália, observaram redução no entupimento de emissores quando o valor do Índice de Saturação aumentava, ou seja, quando aumentava o risco de precipitação de carbonato de cálcio. Embora apresentando limitações, tal índice é o mais comumente usado (APHA, 1992d).

As variações nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- e Fe^{2+} observados a partir da segunda amostragem supõe-se estarem mais relacionadas à diferenças nos volumes no reservatório à época da amostragem, como também ao processo de concentração, em função das perdas de água por evaporação. Contudo, considerando o pequeno volume de água utilizado, as quantidades dos sais foram assumidas como insuficientes para interferir nos resultados.

A população bacteriana encontrada na contagem inicial da água no reservatório foi de $6,8 \times 10^3$ UFC/mL, estando também na faixa de mínimo risco para entupimento de origem biológica. A partir da primeira inoculação com cultura dos gêneros de bactérias isoladas, a qual coincidiu com o início do ensaio, foi efetuado o monitoramento para contagem a cada dois dias, estando a flutuação populacional, no decorrer do ensaio, apresentada na Figura 3.

O número de bactérias na água variou de $3,2 \times 10^2$ UFC/mL a $1,0 \times 10^6$ UFC/mL, ficando, durante quase a totalidade do período do ensaio, acima do valor inicial do nível considerado como severo por Nakayama & Bulks (1976). No decorrer do ensaio, ocorreram decréscimos ocasionais no nível populacional por curtos períodos, tendo sido relacionados com limpeza efetuada no fundo do reservatório, o que provavelmente reduzia o nível de nutrientes na água. Após a adição de uma solução de glicose e peptona, como fonte de carbono e nitrogênio, respectivamente, a população retornava à faixa de valores preestabelecidos.

A temperatura da água no ensaio, medida diariamente, apresentou-se, em média, $7,1^\circ\text{C}$ acima da temperatura da água em equilíbrio com a temperatura do ar. Isso se deu em função do aquecimento provocado pelo processo de recirculação da água na motobomba. Uma vez que a temperatura da água, em equilíbrio com a temperatura do

ar, manteve-se, a maior parte do período do ensaio, abaixo de 20 °C, esse aquecimento resultou benéfico para a manutenção da temperatura da água, no reservatório, dentro da faixa de 20 a 30°C, considerada ótima para o crescimento populacional bacteriano (Pelczar, 1980). Tal fato deve ter colaborado para a reduzida necessidade de inoculação de cultura de bactéria, no período do ensaio. As temperaturas médias da água da bancada, da água em equilíbrio com a temperatura ambiente e da temperatura do ar, medida no local do ensaio, foram 25,8 °C, 18,8 °C e 20,6 °C, respectivamente. A variação das temperaturas medidas no período do ensaio encontram-se na Figura 4.

Tabela 6. Resultados de análises físico - químicas mensais da água.

Parâmetro	Unidade	Inicial	30 dias	60 dias	120 dias
1. Físicos					
Sedimentos	mg.L ⁻¹	2,0	< 1,0	< 1,0	22,0
2. Químicos					
pH		7,06	8,43	8,24	8,60
Cond. Elétrica	dS.m ⁻¹	0,15	0,61	0,58	
Cloreto	mg.L ⁻¹	7,8	18,3	48,5	21,7
Nitrato	mg.L ⁻¹	0,4	1,10	3,50	4,90
Sulfeto	mg.L ⁻¹	<0,3	<0,3	< 0,3	<0,3
Sulfato	mg.L ⁻¹	1,0	18,0	26,0	29,0
Cálcio	mg.L ⁻¹	3,64	50,0	7,00	80,0
Magnésio	mg.L ⁻¹	2,03	35,0	11,0	60,0
Ferro	mg.L ⁻¹	0,05	0,15	0,03	0,07
Manganês	mg.L ⁻¹	<0,01	< 0,01	0,01	0,02
Carbonato	mg.L ⁻¹	<0,1	< 1,0	15,0	135
Bicarbonato	mg.L ⁻¹	120	235	280,0	165

Figura. 3. Nível populacional de bactérias no período do ensaio

Figura. 4. Variação da temperatura da água do reservatório na bancada, da água em equilíbrio com a temperatura ambiente, do ar no local do ensaio e diferença entre temperaturas da água no reservatório e em equilíbrio com a temperatura ambiente, durante o período do ensaio.

4.1.1. Vazão média dos gotejadores

Do ponto de vista prático, a vazão média de emissores pode ser considerada um bom parâmetro para avaliar o processo de entupimento, sendo utilizado em todos os trabalhos pertinentes (Gilbert et al., 1979b; Nakayama et al., 1977; Ravina et al., 1982). Os valores de vazão apresentados referem-se à média de 200 gotejadores, para cada modelo.

Os emissores avaliados apresentaram comportamento diferenciado quanto à redução de vazão, em função do entupimento. Para permitir a comparação do grau de redução de vazão entre os modelos de emissores, uma vez que os mesmos apresentam vazões nominais diferentes, a análise de variância foi efetuada proporcionalizando a vazão medida em relação à nominal. Os resultados da análise de variância e do teste de comparação de médias entre modelos de gotejador e número de horas de operação do sistema encontram-se nas Tabelas 11 e 12 do Anexo. Para todos os tempos de funcionamento avaliados, a variância da vazão média entre gotejadores resultou significativa, no nível de 5% de probabilidade, com coeficiente de variação médio de 3,14%, isso é verdadeiro também, com respeito à comparação da vazão média entre tempos de funcionamento, para todos os modelos.

O modelo Streamline apresentou o melhor desempenho, praticamente não variando a vazão, no período do ensaio. Até o tempo de funcionamento de 960 horas, não foi observada diferença significativa de redução de vazão entre os gotejadores Ram e Streamline. A partir de 1200 horas, no entanto, o modelo Streamline mostrou-se estatisticamente superior ao Ram e aos demais gotejadores, até o final do ensaio. Tal comportamento não era esperado, basicamente em função de dois aspectos: a) é um modelo de gotejador com menor especificação de vida-útil, indicado para uso por 2 a 4 safras de cultivo o que lhe imprime um caráter, digamos, “descartável”; no entanto, essa característica pode estar mais vinculada à durabilidade em campo em função da espessura de parede da mangueira que ao gotejador em si; b) dentre todos os emissores avaliados, é aquele que apresenta menor diâmetro do orifício de passagem de água, com 0,53 mm, sendo esta característica preponderante na suscetibilidade ao entupimento, conforme estabelecido por Pizarro (1996) e em trabalho de Boman (1995), onde emissores, com diferentes diâmetros de orifício, foram avaliados quanto à ocorrência de entupimento de origens diversas. Nesse aspecto, a observação dos dados de redução de vazão, em relação ao diâmetro de orifício de passagem de água, mostra não ter havido boa correlação entre ambos.

De modo contrário ao modelo Streamline, o modelo Tiran, o qual apresenta o maior diâmetro de orifício de passagem, com 1,38 mm, foi aquele que apresentou maior

redução de vazão média. Os modelos Tiran e Dripline apresentaram o desempenho mais negativo, diferindo estatisticamente entre si, a partir do tempo de 1440 horas, com uma redução máxima de 32% e 18%, respectivamente, no período do ensaio. Para os demais modelos, esses valores foram: 13% para o Ram e 12% para o Typhoon, os quais diferiram entre si somente para os tempos de funcionamento de 240 horas, 720 horas e 2160 horas, no nível de significância de 5%.

Os valores de vazão média para os emissores, nas épocas de amostragem, são apresentados na Tabela 7. Para facilitar a comparação entre os emissores avaliados, a vazão foi também expressa em percentagem da vazão nominal, apresentada entre parênteses. De forma geral, as reduções de vazão deram-se uniformemente, ao longo do período do ensaio, embora tenham sido mais pronunciadas, para os modelos Dripline, Tiran e Typhoon, nas primeiras 240 horas de funcionamento, conforme se pode visualizar na Figura 5.

Para a maior parte dos modelos, ocorreram reduções de vazão significativas entre épocas de amostragem, como apresentado na Tabela 13 do Anexo 1. Nesse aspecto, o gotejador Streamline constituiu exceção, uma vez que a vazão média apresentou aumento ao longo do ensaio, sendo que as épocas de 1920 horas e 2160 horas foram estatisticamente superiores às demais. Nos modelos Ram e Dripline, reduções significativas de vazão, da ordem de 5% e 14%, respectivamente, ocorreram a partir de 960 horas, embora apresentando recuperação na vazão, ao final da primeira fase do ensaio. Para o gotejador Typhoon, redução significativa de vazão ocorreu mais tardiamente, a partir de 1200 horas de operação. A redução de vazão mais uniforme ocorreu com o gotejador Tiran, a qual mostrou significância entre quase todas as épocas de amostragem.

Chama a atenção o comportamento inicial do modelo Ram, o qual, diferentemente dos demais, apresentou vazão inicial de 2,0 L/h, bem abaixo da sua vazão nominal, de 2,3 L/h. Tal comportamento está relacionado à influência dos conectores, espaçados de 0,11 m, junto às membranas de compensação de pressão do emissor, seja por ação física, seja por ação hidráulica, através de efeito de turbilhonamento. Em ensaios preliminares, utilizando o espaçamento original, a vazão

observada do modelo foi a nominal. Auxilia no estabelecimento desta hipótese o fato de este gotejador ser o único a apresentar tal comportamento, aliado ao fato de ser também o único com característica autocompensante. A redução da vazão nominal observada para o modelo foi, contudo, uniforme para todos os emissores do modelo, como pode ser confirmado pelo baixo valor de coeficiente de variação de vazão apresentado pelo modelo, na Tabela 8, para a leitura no tempo zero. Dessa forma, a vazão de 2,0 L/h foi considerada como a vazão nominal para esse gotejador.

Os percentuais de redução de vazão, determinados no ensaio, encontram-se próximos daqueles encontrados por Oron et al. (1979), os quais alcançaram até 29%, utilizando água residuária. Sagi et al. (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 et al. (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.

Tabela 7. Vazão média, expresso em L/h e como percentual da vazão nominal (%), dos gotejadores avaliados, no período do ensaio.

Horas/Mod.	SL	RAM	DL	TR	TY
0	1,60 (100)	2,00 (100)	2,00 (100)	2,00 (100)	1,75 (100)
240	1,59 (99)	2,02 (101)	1,86 (93)	1,84 (92)	1,64 (94)
480	1,55 (97)	2,00 (100)	1,75 (87)	1,84 (92)	1,65 (94)
720	1,51 (94)	1,92 (96)	1,70 (85)	1,72 (86)	1,56 (89)
960	1,61 (100)	1,91 (95)	1,74 (87)	1,63 (81)	1,59 (91)
1200	1,57 (98)	1,74 (87)	1,68 (84)	1,56 (78)	1,55 (88)
1440	1,61 (100)	1,81 (90)	1,65 (82)	1,49 (74)	1,57 (90)
1680	1,62 (101)	1,82 (91)	1,76 (88)	1,45 (72)	1,55 (88)
1920	1,66 (103)	1,80 (90)	1,70 (85)	1,36 (68)	1,59 (91)
2160	1,66 (103)	1,90 (95)	1,73 (86)	1,38 (69)	1,54 (88)

Figura 5. Variação da vazão média dos gotejadores no período do ensaio

4.1.2. Uniformidade de aplicação de água

O coeficiente estatístico 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). Todos os emissores avaliados apresentaram coeficiente de variação inicial de vazão $< 5\%$. Dada a pequena magnitude de fatores causadores de desuniformidade (perdas de carga, declividade e diferencial de temperatura da água), e 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. Para todos os tipos de gotejadores, o CV apresentou tendência de crescimento, ao longo do período de ensaio, tendo sido ele mais pronunciado para os modelos Streamline, Typhoon e Dripline, como se pode verificar através da Figura 6. O gotejador Ram apresentou o melhor

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, indicando que a redução de vazão se deu uniformemente para todos os emissores nas linha lateral. O aumento observado a partir de 1680 horas resultou em um valor final de 20,65%, similar ao do Streamline, sendo superior apenas ao modelo Dripline. O fato pode ser visualmente observado na Figura 8, onde são plotadas as vazões por segmento da linha de gotejadores, para todos os tempos de funcionamento avaliados, pode-se observar que a vazão média entre segmentos não variou significativamente, mesmo com a redução ao longo do período do ensaio. De modo contrário, o modelo Streamline, embora se destacando por não apresentar redução significativa de vazão, apresentou uma perda crescente de uniformidade no decorrer do ensaio, sendo seu CV final inferior apenas ao do modelo Dripline, conforme Tabela 8.

Tabela 8. Coeficiente de variação (%) médio das vazões individuais dos gotejadores no período do ensaio.

Horas/Mod.	SL	RAM	DL	TR	TY
0	3,09	4,73	2,30	3,40	5,50
240	10,60	5,31	13,40	8,79	13,35
480	11,61	6,94	25,79	3,61	9,49
720	17,63	6,73	30,48	4,46	11,25
960	12,38	7,39	25,92	6,63	11,21
1200	13,71	11,5	29,42	9,22	12,48
1440	18,58	9,36	25,43	8,01	13,28
1680	17,64	7,87	23,41	11,24	15,62
1920	16,42	9,32	27,79	17,89	13,17
2160	20,68	9,48	27,80	20,65	17,66

Adicionalmente à determinação do coeficiente de variação das vazões, como medida da desuniformidade causada pelo entupimento dos emissores, foi também determinado o coeficiente de uniformidade (CU), proposto por Karmeli & Keller (1975), o qual leva em conta 25% das menores vazões encontradas no conjunto de dados em relação à vazão média. Observa-se que tal metodologia apresenta boa correlação com os valores de CV, conforme se pode visualizar na Figura 7.

Figura 6. Coeficiente de variação (CV), no período do ensaio.

Figura 7. Correlação entre coeficiente de variação (CV) e coeficiente de uniformidade (CU).

4.1.3 Vazão ao longo da linha lateral

Em função do pequeno comprimento das linhas de gotejadores, a perda de carga distribuída não foi considerada como fator de variação de vazão dos emissores, uma vez que as pressões medidas no início e no fim das linhas foram idênticas. Do mesmo modo, dados o pequeno tamanho da linha de emissores e a inexistência de fonte externa de calor, o efeito da temperatura, como causadora de perda de uniformidade (Parchomchuck, 1976), foi desprezado. Uma vez que as linhas de emissores foram instaladas em nível, eliminando a declividade como fonte de desuniformidade, toda variação de vazão dentro das laterais foi atribuída ao coeficiente de variação de fabricação, inerente a cada emissor e, posteriormente, ao processo de entupimento dos emissores. O coeficiente de variação de fabricação, nesse caso, corresponde aos valores de CV determinados para cada emissor no momento inicial do ensaio.

A localização do entupimento, ao longo da linha de gotejadores, apresentou como tendência geral ser ele mais acentuado no final da rede, conforme se pode ser visualizar na Tabela 10, onde é apresentada a diferença percentual da vazão média entre o primeiro e o último quarto de segmento da linha de emissores. Através das Figuras 7 e 8, onde são plotadas a vazão média por segmento da linha lateral, para os diversos tempos de operação, observa-se que essa tendência se mostrou mais acentuada nos gotejadores Streamline e Dripline, nos quais a redução de vazão se deu uniformemente, a partir do quarto inicial e até o quarto final da linha.

Os gotejadores Ram e Typhoon apresentaram comportamento intermediário, não sendo observadas reduções significativas de vazão entre os segmentos de rede avaliados; o gotejador Ram mostrou, na maior parte do período do ensaio, uma tendência de elevação da vazão média nos segmentos intermediários da linha. No entanto, para estes dois modelos, levando-se em conta a redução na vazão média dos emissores ao longo do período de ensaio, apresentado na Tabela 7 e na Figura 5, constata-se que o processo de entupimento ocorreu mais uniformemente ao longo da linha de gotejadores.

Exceção à tendência geral de localização do entupimento ocorreu com o gotejador Tiran. Este modelo, apesar de, inicialmente mostrar, comportamento similar ao dos demais gotejadores, passou a apresentar um maior nível de entupimento

localizado nos segmentos iniciais da rede, principalmente a partir de 1440 horas de operação.

Tabela 9. Diferencial de vazão (%), entre o primeiro e o último quarto de segmento da linha de gotejadores, no período do ensaio.

Horas/Mod.	SL	RAM	DL	TR	TY
0	0,0	0,8	1,0	0,0	-0,4
240	3,3	3,8	16,2	7,3	-0,6
480	3,5	2,6	22,9	1,4	0,0
720	6,2	2,3	23,9	-0,4	-3,7
960	7,6	5,4	19,3	-2,6	-3,7
1200	3,7	0,2	15,6	-1,7	-4,2
1440	10,8	-0,7	18,2	-2,8	-1,7
1680	12,3	2,8	15,4	-7,6	-0,1
1920	7,6	-0,4	14,9	-19,6	0,9
2160	12,6	4,0	19,6	-10,8	2,2

Uma maior ocorrência de entupimento no segmento final da linha lateral foi também observada nos trabalhos de Bralts (1982), Ravina (1992) e Capra & Scicolone (1998), diferindo dos resultados encontrados por Boman (1995), o qual para entupimento de origem física, observou que a ocorrência de obstrução foi caracterizada por ser uniformemente distribuída ao longo da linha lateral de irrigação. O resultado pode ser atribuído à menor velocidade da água no segmento final, o que provoca um maior efeito de sedimentação de partículas finas de material em suspensão na água, ou à manutenção de uma maior população de bactérias e algas nesse ponto da rede. Contagem bacteriana, para amostras de água colhidas em emissores Dripline e Tiran, ao início e ao final da linha de gotejadores em funcionamento, e para diferentes tempos de

operação do sistema, apresentaram resultados diferenciados, como mostrado na Tabela 10. Para as amostragens realizadas com 480 horas e 2160 horas de funcionamento, observou-se um decréscimo do início para o fim da linha de emissores. Já na amostragem realizada com 960 horas de operação, a contagem bacteriana revelou uma predominância da população no início das linhas. Uma maior população bacteriana no final das linhas de emissores supõe-se associada ao acréscimo de entupimento nesse segmento da linha, juntamente com uma acumulação maior de sedimentos finos. As diferenças encontradas podem ser significativas, considerando o pequeno comprimento da linha na bancada de ensaio e a existência de vazão adicional ao final das linhas, através dos registros colocados com o objetivo de simular a vazão do terço intermediário de uma linha em campo.

Para o modelo Tiran, os valores de contagem bacteriana coincidiram, nos tempos amostrados, com o comportamento das vazões médias por segmento da linha lateral, o qual apresentou, contrariamente ao determinado por Bralts (1982) e Ravina (1992), uma tendência de entupimento no início da linha lateral (Figura 8). Nesse aspecto, Resende et al. (1999), avaliando a uniformidade de aplicação de água em uma parcela de irrigação por gotejamento, encontraram diferenças marcantes para contagem de bactérias entre pontos de amostragem, com valores de $5,5 \times 10^2$ UFC/mL na fonte d'água, $1,0 \times 10^3$ UFC/mL após o sistema de filtragem e $2,5 \times 10^7$ UFC/mL no final de uma linha de gotejadores em funcionamento.

Tabela 10. Contagem populacional de bactérias (UFC/mL) ao início e ao final da linha de gotejadores.

Gotejador	480 horas		960 horas		2160 horas	
	Início	Final	Início	Final	Início	Final
DL	$3,4 \times 10^5$	$1,0 \times 10^4$	$5,3 \times 10^5$	$9,8 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$	$5,7 \times 10^5$
TR	$2,7 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	$1,9 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$1,1 \times 10^6$	$8,0 \times 10^5$

Figura 8. Vazão média dos gotejadores nos diferentes segmentos da linha lateral avaliados, para os diferentes tempos de operação avaliados.

4.1.4. Distribuição do entupimento

A ocorrência do entupimento em emissores pode se dar em três situações: no orifício de entrada, no caminho percorrido pela água no emissor e no orifício de saída. O percentual de emissores entupidos refere-se ao total de cada modelo, ou seja, 200 gotejadores.

As Figuras 9 a 14 mostram, para os diferentes tipos de emissores e o tempo de operação do sistema avaliados, a distribuição percentual do número de emissores para diferentes faixas de redução de vazão. Uma vez que manteve a vazão média praticamente constante durante todo o ensaio, o modelo Streamline mostrou o melhor desempenho, tendo 90% do total dos emissores não apresentado redução de vazão e os 10% restantes, reduções entre 10% e 20%. O modelo Ram manteve o mesmo comportamento do Streamline até o tempo de operação de 720 horas. A partir daí, iniciou-se um processo gradativo de entupimento parcial, causando redução de vazão de 10% e 20% em 56% e 24% dos emissores do modelo, no tempo de operação de 1200 horas.

O padrão de distribuição do nível de entupimento para os modelos, Dripline e Typhoon, foram semelhantes ao observado para o gotejador Ram, sendo, no entanto, mais rápido, iniciando-se já a partir de 240 horas de operação, para ambos os modelos. O maior nível de entupimento foi alcançado pelo gotejador Tiran, tendo iniciado a partir de 240 horas de funcionamento e aumentado gradativamente atingindo 40% em 16% do número total de gotejadores, ao final do ensaio. Este modelo, no entanto, juntamente com o gotejador Ram, apresentou, durante todo o período de ensaio, o menor percentual de gotejadores com entupimento total, ou seja, redução de mais de 95% da vazão nominal. Nesse aspecto, o gotejador Dripline deteve o maior percentual de emissores com entupimento total, alcançando um valor médio de 4% dos gotejadores, a partir de 480 horas de funcionamento.

Os modelos Streamline e Typhoon apresentaram comportamento similar quanto ao entupimento total, com valor médio de 1% do total de emissores de cada modelo. Para todos os modelos, à exceção do Tiran, o número de gotejadores com entupimento parcial não foi cumulativo, no decorrer do ensaio. Tal fato pode estar associado a uma

característica de autolimpeza, como no caso do modelo Ram, ou a uma expulsão natural de resíduo, principalmente no instante inicial de funcionamento do sistema, quando a velocidade da água é superior e o gotejador praticamente espirrava água juntamente com o ar. O mecanismo de autolimpeza do modelo Ram, conforme dados de catálogo do fabricante, baseia-se no equilíbrio de pressões, nas áreas superior e inferior do diafragma, em função da redução de vazão causada pelo entupimento. Esse equilíbrio faz com que o diafragma flutue, expulsando as partículas que se acumularam

A análise para a identificação dos gêneros de bactérias presentes no orifício de entrada, na parte interna e na saída do emissor foi efetuada com pesquisa para os gêneros *Clostridium*, *Bacillus* e *Pseudomonas*, citadas por Gilbert & Ford (1986) como, entre outras, de principal ocorrência em emissores entupidos. Em duas análises efetuadas, somente o gênero *Bacillus* foi detectado. Este gênero de bactéria apresenta-se em forma de cocos flagelados, com larga habilidade fisiológica com respeito ao calor, ao pH e à salinidade, sendo anaeróbia, ou facultativamente anaeróbia (Holt et al., 1994). Gilbert et al. (1982a) encontraram predominância da ocorrência deste gênero de bactéria em água do rio Colorado - EUA e em emissores de sistemas de irrigação que utilizavam essa água. No trabalho destes autores, a maior predominância, no entanto, foi do gênero *Pseudomonas*, ocorrendo em 87% das amostras avaliadas. Observou-se visualmente, na área interna das mangueiras, junto aos emissores ensaiados, a formação de mucilagem, a qual pode ter agido como agente cimentante, para partículas de silte e argila. Não foi observada a olho nu, a formação de hifas no interior das mangueiras, o que confirma o fato de o gênero *Bacillus* não ser constituído por bactérias filamentosas.

A partir da última metade do período do ensaio, observou-se a ocorrência de fungo de cor preta, aderido em pontos da calha coletora da bancada, onde havia sido efetuada vedação com silicone. O material foi coletado e identificado, em laboratório, como do gênero *Gonatobotrys*, não sendo, no entanto, observado nos emissores. Em emissores retirados para análise, pôde ser visualizada a formação de mucilagem envolvendo a parte lateral do corpo do gotejador. Efetuando análise desse tipo, Sagi et al. (1995) observaram que a maior parte do entupimento ocorreu à entrada do emissor, seguido pelo entupimento à saída do mesmo.

Figura 9. Percentual do número total de gotejadores ($n = 200$) por faixa de redução de vazão, para o modelo Streamline, no período do ensaio

Figura 10. Percentual do número total de gotejadores ($n = 200$) por faixa de redução de vazão, para o modelo Ram, no período do ensaio.

Figura 11. Percentual do número total de gotejadores (n = 200) por faixa de redução de vazão, para o modelo Dripline, no período do ensaio.

Figura 12. Percentual do número total de gotejadores (n = 200) por faixa de redução de vazão, para o modelo Tiran, no período do ensaio.

Figura 13. Percentual do número total de gotejadores (n = 200) por faixa de redução de vazão, para o modelo Typhoon, no período do ensaio.

4.2. Recuperação de emissores com entupimento

Os parâmetros para a avaliação da eficiência do tratamento de aplicação de diferentes doses de cloro, na recuperação de gotejadores apresentando graus diversos de redução de vazão, foram os mesmos daqueles utilizados na primeira fase do ensaio, ou seja, vazão média, coeficiente de variação das vazões individuais dos gotejadores e percentual do total de emissores, por faixa de redução de vazão. A situação anterior à primeira aplicação refere-se à leitura de vazão de cada bloco, ao final da primeira fase do ensaio, ou seja, após 2160 horas de operação.

4.2.1. Vazão média de gotejadores

Para uma melhor visualização do efeito dos tratamentos, os resultados de vazão média serão discutidos em termos de percentual da vazão nominal de cada modelo, conforme apresentado nos gráficos da Figura 14. O efeito do tratamento com cloro na vazão média dos emissores não foi uniforme para todos os modelos e doses estudadas. Os resultados de análise de variância e de comparação de médias encontram-se na Tabela 13. Para o gotejador Streamline, a aplicação de cloro, contrariamente ao esperado, resultou em efeito depressivo da vazão. Esse efeito foi observado para todas as doses avaliadas, sendo estatisticamente significativo somente para as doses de cloro de 150 mg/L e 450 mg/L, sem que houvesse diferença entre a primeira e a segunda aplicação.

Esse mesmo comportamento foi também observado para a dose de 150 mg/L, no gotejador Ram, tanto na primeira como na segunda aplicação, não sendo as diferenças de vazão, no entanto, significativas pelo teste de Tuckey, no nível de 5% de probabilidade. Para tal modelo, as doses de 300 e 600mg/L redundaram em níveis de recuperação da vazão semelhantes já na primeira aplicação, com diferença significativa em relação à situação sem aplicação. Para a dose de 300 mg/L, a variação de vazão foi de 91% para 97% da vazão nominal do modelo. A segunda aplicação, nesse modelo, mostrou ser detrimental, ou sem efeito significativo. O redução de vazão observada no gotejador Streamline, para todas as dosagens aplicadas, pode estar relacionada ao efeito da dissolução de material pela ação do cloro, anteriormente localizado nas paredes da

mangueira. Este material, composto por mucilagem, decorrente do crescimento bacteriano, ao ser dissolvido, penetraria, depositando-se na parte interna do gotejador. Quando da retirada da bancada de ensaio de gotejadores deste modelo, para a identificação dos gêneros de bactérias presentes, pôde-se observar a formação de mucilagem, envolvendo lateralmente todo o gotejador, no interior da tubulação.

Para o gotejador Dripline, a aplicação do cloro não resultou em efeito significativo de redução do entupimento, tanto para as doses estudadas como também para o número de aplicações efetuadas. Comportamento semelhante foi observado para o gotejador Typhoon, para o qual apenas a segunda aplicação da dosagem de 450 mg/L resultou em recuperação de vazão significativa, passando de 84% para 93% da vazão nominal do modelo.

Tendo já se destacado na primeira fase do ensaio, pela intensidade e pela uniformidade na ocorrência do entupimento, o gotejador Tiran apresenta novamente comportamento diferenciado dos demais modelos, com relação ao nível de recuperação da vazão. Para a primeira aplicação de cloro, apenas as dosagens de 300 mg/L e 600 mg/L aumentaram significativamente a vazão do emissor, em relação àquela antes da aplicação. A segunda aplicação resultou em uma vazão estatisticamente superior à primeira, para todas as dosagens de cloro. O maior acréscimo de vazão, na primeira aplicação, ocorreu com a dose de 300 mg/L, passando de 71%, antes da aplicação, para 86% da vazão nominal, enquanto, para a segunda aplicação, a dose de 450 mg/L resultou em acréscimo de vazão de 30%, com relação à situação sem aplicação, passando de 65% para 95% da vazão nominal. Os níveis de recuperação de vazão alcançados são similares àqueles obtidos por Nakayama (1977), tratando emissores com nível de redução de vazão de 25% a 50 %.

Um aspecto a considerar, na interpretação dos resultados de eficiência de recuperação de vazão entre as doses de cloro aplicadas, refere-se ao nível de redução de vazão encontrado anteriormente à aplicação. No caso do gotejador Ram, por exemplo, a primeira aplicação das doses 300 mg/L e 600 mg/L mostrou-se estatisticamente eficiente na recuperação da vazão, o que não ocorreu para a dose de 450 mg/L. Porém, para esta última, observa-se, através da Figura 14, que se partiu de um patamar de vazão

bem mais elevado na situação sem aplicação, ou seja, as doses de 300 mg/L e 600 mg/L foram aplicadas quando o gotejador apresentava 91% e 92% de redução de vazão, respectivamente, enquanto, na dose de 450 mg/L, tal redução era de apenas 97%. Esse raciocínio pode também ser aplicado, no caso da segunda aplicação, para o gotejador Typhoon, nas doses de 300 mg/L e 450 mg/L.

A aplicação das doses de cloro foram efetuadas, nos diversos blocos, em continuação à primeira fase do ensaio, o que resultou, para a maioria dos modelos, em um nível de redução de vazão diferenciado para cada bloco e, conseqüentemente, uma situação inicial diferente para cada tratamento de doses de cloro. Esse fato pode ser visualizado na Figura 14, onde se apresenta para, todos os gotejadores e doses de cloro, o percentual da vazão nominal na situação sem aplicação. Nesse caso, uma comparação estatística avaliando doses de cloro poderia apontar para a superioridade de uma determinada dose de cloro apenas pelo fato dela estar vinculada a uma situação mais favorável (menor grau) de redução de vazão antes da aplicação do cloro. Apesar disso, pode-se observar que todos os modelos apresentaram níveis de recuperação de vazão similares para as dosagens avaliadas, revelando a vantagem, do ponto de vista econômico, da dose de 150 mg/L.

No caso do modelo Tiran, em função do maior nível de redução de vazão, aliado à uniformidade dessa redução entre os diversos blocos (doses), a superioridade de duas aplicações da dose de 150 mg/L mostrou-se mais evidente. O mesmo raciocínio apresentado para evidenciar a vantagem da dose de 150 mg/L, sobre as demais, no nível de recuperação de vazão, pode ser aplicado ao efeito de tal dose sobre o coeficiente de variação de vazão.

4.2.2. Uniformidade de aplicação de água

Da mesma forma que, no parâmetro vazão média, a aplicação de cloro mostrou comportamento diferenciado sobre o coeficiente de variação (CV) para os gotejadores avaliados, como se pode visualizar na Figura 15. O modelo Streamline, contrariamente ao que ocorrera com relação à vazão média, apresentou resposta favorável aos tratamentos, reduzindo o CV para todas as doses aplicadas. Tal redução mostrou-se mais

pronunciada para a primeira aplicação da dosagem de 300 mg/L, na qual o CV passou de 21% para 5%. O mesmo efeito favorável das doses de cloro e o melhor desempenho da dosagem de 300 mg/L se repetiram no modelo Ram, mesmo partindo-se de valores de CV, na situação anterior à aplicação, bem mais baixos.

Nos modelos Dripline e Typhoon, repetiu-se o efeito depressivo das doses nos valores de CV, como ocorrera com o modelo Streamline, com relação à vazão média. Esse efeito mostrou-se mais pronunciado para as duas aplicações da dosagem de 600 mg/L em ambos os modelos e nas duas aplicações da dosagem de 150 mg/L, para o gotejador Typhoon. O cálculo do CV apresenta elevada sensibilidade aos valores extremos na amostra, como no caso de emissores totalmente obstruídos. Através da Figura 11, vê-se que o gotejador Dripline já apresentava, anteriormente ao tratamento com cloro, o maior percentual de gotejadores com entupimento total dentre todos os modelos, sendo que a aplicação de cloro resultou em aumento desse percentual, principalmente para as doses de 300 mg/L e 600 mg/L, conforme apresentado na Figura 18. O melhor efeito do tratamento com cloro no aumento da uniformidade de aplicação foi observado no modelo Tiran, no qual todas as doses estudadas apresentaram eficiência semelhante, tendo esse efeito sido sentido mais marcadamente com a segunda aplicação de cloro.

SL

RAM

DL

TR

TY

Figura 14. Vazão média percentual da vazão nominal (%) de gotejadores em função de doses de cloro e número de aplicações

SL

RAM

DL

TR

TY

Figura 15. Coeficiente de variação (CV) de gotejadores em função de doses e número de aplicações de cloro.

4.2.3. Distribuição do entupimento

Diferentemente da primeira etapa do ensaio, nesta fase, o percentual de emissores por faixa de redução de vazão refere-se a uma amostra de 50 gotejadores. Para o modelo Streamline, as reduções observadas na vazão média, em função das doses de cloro (Figura 16), resultaram em pequeno reflexo na distribuição do entupimento. Apenas a primeira aplicação da dosagem de 450 mg/l resultou em um aumento do percentual de emissores com 10% de redução de vazão.

Para o modelo Ram, o aumento da vazão média observado para as dosagens de 300 mg/L e 600 mg/L (Figura 17) refletiu-se principalmente na passagem de emissores da situação de 10% para zero por cento de redução de vazão, sendo o efeito contrário para a dosagem de 150 mg/L. No modelo Dripline, o efeito principal das dosagens também foi a passagem de emissores com 10% de redução de vazão para a faixa de redução zero, tendo este efeito sido mais efetivo para a segunda aplicação das doses de 450 mg/L e 150 mg/L. Tal tendência repetiu-se com bem mais evidência no gotejador Typhoon, onde a segunda aplicação, para todas as dosagens, resultou em aumento pronunciado do nível zero de entupimento, reflexo da diminuição do nível de 10% de redução de vazão. Nas doses de 300 mg/L, 450 mg/L e 600 mg/L esse efeito foi mais evidente.

Para o gotejador Dripline, todas as dosagens, à exceção da menor, resultaram em aumento do percentual de emissores com entupimento total, tendo esse efeito sido mais pronunciado para a dose de 600 mg/L. Uma explicação provável para o aumento do entupimento total poderia ser a liberação de mucilagem, não totalmente dissolvida pela ação oxidante do cloro, das paredes dos tubos. Esta hipótese não pôde ser comprovada experimentalmente e, como já observado, o fato foi de ocorrência restrita ao modelo Dripline. A aplicação de cloro não se mostrou eficiente na redução do entupimento total. Nakayama & Bucks (1991) referem-se à baixa eficiência do tratamento de recuperação em gotejadores totalmente entupidos, pelo fato da água tratada com o químico não fluir através do emissor, onde a ação corretiva deve supostamente ocorrer.

O efeito do cloro no padrão de distribuição das vazões foi mais marcadamente observado no gotejador Tiran. Ao término da primeira fase do ensaio, o modelo

apresentava a quase totalidade dos gotejadores com reduções de 20% a 40%. Após a primeira aplicação, apenas a dose de 300 mg/L resultou em aumentos expressivos de percentual de gotejadores na faixa de 0% a 10% de redução de vazão. Para a segunda aplicação, no entanto, essa faixa de redução de vazão foi obtida para todas as doses avaliadas, tendo a dose de 450 mg/L resultando no aumento mais efetivo de emissores com nível zero de redução de vazão, alcançando 80% do total dos emissores. A semelhança na respostas ao tratamento com cloro para o modelo Tiran, resulta na vantagem econômica da dose de 150 mg/L.

Um aspecto a considerar quando da análise dos níveis de redução de vazão e de perda de uniformidade alcançados por todos os emissores, objeto de estudo na primeira fase do ensaio, foi a necessidade do uso de conectores de mangueira para permitir um espaçamento mínimo entre os gotejadores, possibilitando o aumento da população de emissores avaliados. É suposto que tal procedimento metodológico venha a influenciar na intensidade de formação de mucilagem e no conseqüente nível de agregação de material junto à reentrância formada entre o conector (união de mangueiras) e a parede da mangueira, através do aumento de pontos de adesão de biofilme.

Adicionalmente, além de características como o diâmetro de orifício de passagem de água, turbulência do fluxo de água, vazão, mecanismos de auto-limpeza etc., outros fatores relacionados à arquitetura dos gotejadores, como comprimento do percurso da água na parte interna do emissor, área de filtração, localização do orifício de entrada de água no emissor em relação à seção transversal e longitudinal da mangueira, além de posicionamento do emissor na mangueira (montagem na parte superior ou inferior do tubo) etc., podem ter determinado a diferença na suscetibilidade ao entupimento observada para cada modelo avaliado. A Tabela 14 apresenta valores, de parâmetros da arquitetura interna dos emissores ensaiados.

Figura 16. Percentual do número total de gotejadores Streamline (n = 50) por faixa de redução de vazão em função de doses e número de aplicações de cloro.

Figura 17. Percentual do número total de gotejadores Ram (n = 50) por faixa de redução de vazão, em função de doses e número de aplicações de cloro.

Figura 18. Percentual do número total de gotejadores Dripline (n = 50) por faixa de redução de vazão, em função de doses e número de aplicações de cloro.

Figura 19. Percentual do número total de gotejadores Tiran (n = 50) por faixa de redução de vazão, em função de doses e número de aplicações de cloro.

Figura 20. Percentual do número total de gotejadores Typhoon (n = 50) por faixa de redução de vazão, em função de doses e número de aplicações de cloro.

O bom desempenho de modelo Streamline, em termos de manutenção de vazão ao longo do ensaio, pode estar relacionado ao elevado tamanho da área de filtragem de água, como também às características de fluxo e pequeno comprimento do percurso da água no interior do emissor (Figura 21 A). O gotejador Dripline, o qual destacou-se em função do mais elevado número de emissores com entupimento total, apresenta, por sua vez, juntamente com o modelo Typhoon, um percurso de água (Figura 21-B) superior ao Streamline e uma reduzida área de filtragem

Para o modelo Ram, o qual também foi destaque pelo nível de manutenção de vazão e uniformidade de aplicação de água, além do aspecto já discutido do mecanismo de auto-limpeza, tem seu orifício de entrada de água elevado, posicionado-se praticamente no centro da seção transversal da mangueira (Figura 22), onde,

supostamente, a água encontra-se com menor nível de resíduo. Este aspecto, o qual necessita ser melhor avaliado em estudos posteriores, pode ser parcialmente manejado em campo, posicionando o emissor sempre voltado para cima, na linha lateral.

O modelo Tiran, por sua vez, caracteriza-se por apresentar, dentre os avaliados, o maior percurso de caminhamento da água (129 mm), aliado uma relativamente

Tabela 11. Características do labirinto de passagem de água e filtro de água, dos emissores avaliados.

Mod./Caract.	Profundidade (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Comprimento do filtro (mm)
SL	ND	ND	ND	ND
RAM	1,04	1,04	15	ND
DL	ND	ND	ND	ND
TR	0,93	0,97	129	16,7
TY	0,71	0,71	20	ND

ND – Informação não disponível em catálogo técnico

pequena área de filtragem (Figura 21 C). O longo percurso pode ter favorecido o desenvolvimento de mucilagem, ou um processo contínuo de deposição de material em suspensão, na parte interna do emissor, determinando a uniformidade com que se deu a redução de vazão ao longo do período do ensaio. Essa mucilagem formada, teria sido facilmente removida por todas as doses de cloro avaliadas, resultando no maior nível de recuperação de vazão e de uniformidade de aplicação de água alcançado entre os todos os gotejadores (Figuras 14, 15 e 19). Uma atualização do modelo Tiran usado no ensaio, apresenta redução do comprimento do percurso d'água, para 97 mm, bem como ampliação da área de filtragem, o que supostamente reduziria sua suscetibilidade ao entupimento para as condições de contorno estabelecidas no presente ensaio.

Figura 21. Labirinto de passagem de água e área de filtragem dos gotejadores Streamline (A), Typhoon e Dripline(B), e Tiran (C). (Catálogo eletrônico Netafim)

Figura 22. Representação do gotejador Ram em corte longitudinal (A) e transversal (B), evidenciando a elevação da entrada de água (Catálogo eletrônico Netafim).

O nível de redução de vazão encontrado no ensaio mostrou-se melhor correlacionado com os parâmetros inerentes à arquitetura interna dos emissores, como comprimento do percurso da água e área de filtragem, contrariamente aos parâmetros de vazão média e diâmetro do orifício dos emissores, como já discutido no item 4.1.1. Um outro aspecto aqui não avaliado, refere-se à rugosidade da parede interna das linhas de gotejadores, favorecendo a aderência das células bacterianas nas paredes. Observações visuais nas mangueiras permitiram apenas indicar uma menor rugosidade para o modelo Tiran, o que corrobora a influência da arquitetura interna como fator predominante para a ocorrência do entupimento. Diferenças entre os emissores quanto à habilidade de

Figura 23. Representação de fluxo turbulento no labirinto de um gotejador (Catálogo eletrônico Netafim).

atingir níveis máximos de regime de fluxo turbulento (Figura 23), constituem em fator a ser considerado na suscetibilidade de emissores ao entupimento.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na condução do ensaio permitiram chegar às seguintes conclusões:

- a. Existem diferenças significativas entre os modelos de gotejadores avaliados, com relação à suscetibilidade ao entupimento de origem biológica;
- b. Houve tendência à localização do entupimento no final das linhas de irrigação;
- c. O entupimento parcial foi preponderante, em relação ao entupimento total;
- d. Os parâmetros de redução de vazão e de uniformidade não se mostram necessariamente relacionados;
- e. Houve diferenças dos gotejadores avaliados quanto à resposta tanto à doses como ao número de aplicações, no tratamento de choque com cloro, sendo que a dosagem de 300 mg/L apresentou resultados mais positivos para maioria dos modelos;
- g. A cloração da água foi efetiva para o entupimento parcial , não o sendo para emissores apresentando entupimento total;
- h. O entupimento de causa biológica mostrou-se mais relacionado à arquitetura interna dos emissores que à parâmetros de vazão e diâmetro do orifício.

SUGESTÕES

Do estudo dos dados obtidos e experiências vivenciadas na condução do ensaio e com propósito de contribuir para trabalhos subsequentes, algumas sugestões são apresentadas,

- a. A necessidade do uso excessivo de conectores de união de mangueira, para ajuste de espaçamento entre emissores, exigiu extremo cuidado no sentido de se evitar interferências na medição das vazões dos emissores. A possibilidade de obtenção, junto ao fabricante de tubo-gotejadores com o espaçamento apropriado, além de resolver tal problema, resultaria em uma situação mais similar a de campo.
- b. As perdas por evaporação na bancada de ensaio são consideráveis, apresentando um valor médio de 40 L/dia no presente ensaio. Tal fato conduz à necessidade de um monitoramento mais rigoroso de parâmetros relacionados à qualidade da água.
- c. Trabalhos futuros em laboratório envolvendo tratamento de recuperação de emissores entupidos devem ser planejados no sentido de permitir uma análise mais rigorosa na definição da melhor dose dos produtos avaliados.
- d. O comprimento do caminho percorrido pela água na parte interna do emissor, o tamanho da sua área de filtragem e o posicionamento do emissor na mangueira em relação ao solo, são parâmetros que merecem ser melhor avaliados em estudos de entupimento.
- e. O tratamento preventivo do entupimento deve ser mais incentivado do que o tratamento de choque, pois mostra-se mais eficiente no controle do entupimento, constituindo-se um campo promissor de estudo.

ANEXO

Tabela 13. Análise de variância e teste de comparação de médias de percentual da vazão nominal entre modelos de gotejadores.

Modelo	Número de horas de operação do sistema na bancada de ensaio, em horas									
	240	480	720	960	1200	1440	1680	1920	2160	
SL	99,3 ab AB	96,8 ab AB	44,2 ab A	100,3 a A	98,2 a A	100,8 a A	101,4 a A	103,9a A	103,7a A	
RAM	101,0 a A	100,1 a A	96,0 a A	95,6 ab AB	86,7 b BC	90,6 b B	91,1 b B	90,0b B	94,7b B	
DL	92,6 c B	87,6 c C	85,0 c B	86,7 cd D	83,8 bc C	82,6 c C	88,1 b B	85,0b B	86,6c C	
TR	91,8 c B	92,0 bc C	86,0 c B	81,2 d D	78,0 c C	74,6 d D	72,5 c C	68,0c C	68,7d D	
TY	93,6 bc B	94,4 ab BC	89,6 bc B	90,6 bc C	88,4 b B	89,6 b B	87,7 b B	90,5b B	88,1c BC	
Teste F	8,71**	13,6**	18,2**	32,3**	21,9**	71,8**	53,8**	47,2**	93,1**	
C.V.(%)	2,95	2,73	2,52	2,87	3,63	2,62	3,20	4,30	3,02	

Médias seguidas da mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferem entre si.

Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, no nível de 5% de probabilidade

Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, no nível de 1% de probabilidade

** Significativo no nível de 1% de probabilidade

Tabela 14. Análise de variância e teste de comparação de médias de percentual da vazão nominal entre números de horas de operação do sistema

Núm. de horas	Modelo de gotejador				
	SL	RAM	DL	TR	TY
240	99,3 abc ABC	101,0 a A	92,6 a A	91,8 a A	93,6 ab AB
480	96,8 bc BC	100,1 ab AB	87,6 abc AB	92,0 a A	94,4 a A
720	94,2 c C	96,0 abc ABC	85,0 bc B	86,0 b AB	89,6 abc AB
960	100,3 ab ABC	95,6 bcd ABC	86,7 bc AB	81,2 bc BC	90,6 abc AB
1200	98,2 bc ABC	86,7 f D	83,8 bc B	78,0 cd CD	88,4 bc AB
1440	100,8 ab AB	90,6 def CD	82,6 c B	74,6 de DE	89,6 abc AB
1680	101,4 ab AB	91,1 cdef CD	88,1 ab AB	72,5 ef DEF	87,7 c B
1920	103,9 a A	90,0 ef CD	85,0 bc B	68,0 f F	90,5 abc AB
2160	103,7 a A	94,7 cde BC	86,6 bc AB	68,7 f EF	88,1c B

Médias seguidas da mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferem entre si.

Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, no nível de 5% de probabilidade

Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, no nível de 1% de probabilidade

Tabela 13. Análise de variância e teste de comparação de médias de vazão entre número de aplicações de cloro

Núm. de aplicações	Doses de cloro, em mg/L		
	150	300	600
	SL		
S/APLIC	1,74 a A	1,66 a A	1,61 a A
APLIC. 1	1,58 b AB	1,63 a A	1,49 a A
APLIC. 2	1,53 b B	1,61 a A	1,50 a A
	RAM		
S/APLIC	1,95 a A	1,82 b B	1,85 b B
APLIC. 1	1,94 a A	1,95 a A	1,93 a A
APLIC. 2	1,88 a A	1,88 ab AB	1,92 a A
	DL		
S/APLIC	1,80 a A	1,82 a A	1,64 a A
APLIC. 1	1,82 a A	1,71 a A	1,45 a A
APLIC. 2	1,86 a A	1,77 a A	1,46 a A
	TR		
S/APLIC	1,41 b B	1,41 c C	1,35 c C
APLIC. 1	1,43 b B	1,71 b B	1,54 b B
APLIC. 2	1,92 a A	1,86 a A	1,81 a A
	TY		
S/APLIC	1,59 a A	1,55 a A	1,55 a A
APLIC. 1	1,54 a A	1,60 a A	1,54 a A
APLIC. 2	1,58 a A	1,63 a A	1,57 a A

Médias seguidas da mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferem entre si.

Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, no nível de 5% de probabilidade

Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, no nível de 1% de probabilidade

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-LAYLA, M.A. **Water supply engineering design**. McGraw Hill. 1977 284p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Heterotrophic plate count. In: **Standard methods for examination of water and wastewater**. Washington, 1992a. p. 9.32 - 9.34.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Chlorine demand. In: **Standard methods for examination of water and wastewater**. Washington, 1992b. p. 2.38 - 2.39.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Chlorine(residual). In: **Standard methods for examination of water and wastewater**. Washington, 1992c p. 4.36 - 4.47.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION . Calcium carbonate saturation In: **Standard methods for examination of water and wastewater**. Washington, 1992d. p. 2.28 - 2.34.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.(Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1).

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Água: (tratamento e qualidade)**. Rio de Janeiro: USAID, 1964. 465 p.

- BIRGHAM, F.T.; FENN, L.B.; OERTLI, J.J. A sandculture study of chloride toxicity to mature avocado trees. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.32, n.2, p.249-259, 1968.
- BOMAN, B.J. Effects of orifice size on microsprinkler clogging rates. **Transactions of the ASAE**, v.11, n.6, p.839-843, 1995.
- BOMAN, B.; ONTERMAA, E. Citrus microsprinkler clogging: costs, causes, and cures. **Proc. Fla. State. Hort. Soc.** n.107. p.39-47, 1994.
- BRALTS, V. F. Operational principles/field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F.S.; BULKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam:Elsevier, 1986. cap. 3, p. 216 - 240.
- BRALTS, V.F.; WU, I-PAI; GITLIN, H.M. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. **Transactions of the ASAE**, v.24, n.5, p.1234-1240, 1981.
- BRALTS, V.F.; WU, I-PAI; GITLIN, H.M. Emitter plugging and drip irrigation lateral line hydraulics. **Transactions of the ASAE**, v.25, n.6, p.1274-1281, 1982.
- BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. Drip system maintenance. In: **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1998. cap. 12, p.161 – 175.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.70, p.355-365. 1998.
- CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P. de; BERGAMIN FILHO, H. A concentração de cloro em folhas de café. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. v.26, p.93-97, 1969.

- ENGLISH, S.D. Filtration and water treatment for micro-irrigation. In.3. **INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS**, Fresno, 1985. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1985. p.50-57.
- ESTADOS UNIDOS. Departament of Agriculture. An index of the tendency of CaCO_3 to precipitate from irrigation waters. U.S. Salinity Laboratories. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 29, p. 91-92, 1965
- GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F.S.; BULKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam:Elsevier, 1986. cap.3. p. 142-163.
- GILBERT,R.G.; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. et al. Trickle irrigation: predominant bacteria in treated Colorado river water and clogged emitters. **Irrigation Science**, v.3, p.123-132, 1982.
- GILBERT, R.G.; NAKAYAMA, F.S.;BUCKS, D.A. Trickle irrigation: prevention of clogging. **Transactions of the ASAE**, v.22, p.514-519, 1979.
- GUGLIELMONE, G. C. de; CARDENAS, G.; DIEZ, O. et al. Hipoclorito de cálcio: agente de desinfección para ingenios azucareros. **Avance Agroindustrial**, v.19, n.76, p.13-16, 1999
- HOLT, J.G.; KRIEG, N.R; SNEATH, P.H.A. et al. **Bergey's manual of determinative bacteriology**. 9 ed. Baltimore:Williams e Wilkins, 1994. 787 p.
- JACKSON, R.C.; KAY, M.G. Use of pulse irrigation for reducing clogging problems in trickle emitters. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.37, p.223-227, 1987.

- KARMELI, D.; KELLER, J. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Manufacturing Corporation, 1975. 132p.
- KELLER, J.; BLIESNER, D.R. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Ed. Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- LIMA, L.A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.J.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Ed.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap. 4, p. 113-136.
- LÓPEZ, J.R.; ABREU, J.M.H.; REGALADO. Et al. **Riegos localizados**. 2ed. Madrid:Ed. Mundi Prensa. 1997. 405p.
- NAKAYAMA, F. S. Operational principles/water treatment. In: Nakayama, F.S.; BULKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam:Elsevier, 1986. cap.3, p. 164 -187.
- NAKAYAMA, F.S; BULKS, D.A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**. v.24. p. 77-80, 1981.
- NAKAYAMA, F.S.; BULKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**, v.12, p.187-192, 1991.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH,O.F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. **Transactions of the ASAE**. v. 20, p.278 - 280, 1977.
- ORON, G.; GEDALIAH, S.; ZUR, B. Stormwater and recalimed effluent for trickle irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.108, n.2, p.115-126, 1979.

- PADMAKUMARI, O.; SIVANAPPAN, R.K. Study on clogging in drip systems. In. INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., Fresno, 1985. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1985. p.80-83.
- PARCHOMCHUCK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. **Transactions of the ASAE**. v.19, n.4, p.690-692, 1976.
- PELCZAR, M.J. **Microbiologia**. São Paulo: McGraw Hill, 1981. V.1, 267p.
- PITTS, D.; PETERSON, K.; GILBERT, G. et al. Field assessment of irrigation system performance. **Transactions of the ASAE**. v.12, n.3, p.307-313, 1996.
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3ed. Madrid : Ed. Mundi Prensa, 1996. 513p.
- RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z. et al. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, v.13. p.129-139, 1992.
- RESENDE, R.S. CASARINI, E. COELHO, R.D. et al. Ocorrência de entupimento de origem biológica em irrigação por gotejamento no município de Atibaia - SP. (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA.26., Pelotas, 1999.
- SAGI, G.; PAZ, E.; RAVINA, I. et al. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. In. INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, Orlando, 1995. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1995. p.250-254.
- SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**. v.22, n.5, p.34-38, 1979.

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

TEIXEIRA, N.T.; DANTAS, A.M. Efeito de doses crescentes de cloro na cultura do amendoim(*Arachis hypogaea* L.) cv. tatu. **Ecossistema**, v.11, p. 132-135, 1986.

TEIXEIRA, N.T.; BALDIA, J.S.; PAPA, P.E. et al. Efeito de doses crescentes de cloro na cultura do pimentão. **Ecossistema**, v.4, n.1, p.127-128, 1979.

TEIXEIRA, N.T.; VIEIRA, J.L.; SANTOS, J. et al. Efeito do cloro na cultura da alface. **Ecossistema**, v.5, n.1, p59-61, 1980.

WHITE, G.C. **Handbook of chlorination**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1972. 744p.