

GUSTAVO HADDAD SOUZA VIEIRA

RECUPERAÇÃO DE GOTEJADORES OBSTRUÍDOS DEVIDO À
UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS FERRUGINOSAS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2002

Aos meus pais, José Anilton e Fátima.
Dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela minha existência e pela força que me foi concedida nos momentos de fraqueza.

Aos meus pais, José Anilton e Fátima, pelo incentivo, pelo carinho e compreensão durante toda a minha vida e em minha caminhada até aqui, onde nunca chegaria sem eles.

Às minhas irmãs Christina, Carolina e Larissa, e aos meus sobrinhos Isabela e Vinícius, pelo carinho, pelo afeto, incentivo e momentos de alegria.

À Paola, pelo amor, carinho, companheirismo e compreensão, nos momentos de tensão, e incentivo nos momentos de desânimo.

Ao professor Everardo Chartuni Mantovani, pela orientação e pelo apoio no acompanhamento de meus estudos, e pela confiança e oportunidade em cursar o Mestrado.

Ao Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café/EMBRAPA, pelo suporte financeiro.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos valiosos conhecimentos.

A todos os meus amigos, pelos momentos de alegria e a cada um que acreditou em mim.

A todos vocês que participaram, direta ou indiretamente, da realização deste trabalho.

Ofereço.

BIOGRAFIA

GUSTAVO HADDAD SOUZA VIEIRA, filho de José Anilton Dias Vieira e Fátima Haddad Souza Vieira, nasceu em 16 de setembro de 1975, na cidade de Vitória – ES,.

Em 1994, iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em janeiro de 2000.

Em abril de 2000, ingressou no programa de Aperfeiçoamento Profissional, pela FAPEMIG, junto ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em fevereiro de 2001.

Em março de 2001, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em novembro de 2002.

ÍNDICE

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. O problema de entupimento.....	5
2.1.1. Fatores físicos.....	7
2.1.2. Fatores biológicos.....	8
2.1.3. Fatores químicos.....	9
2.2. Medidas preventivas.....	11
2.2.1. Filtragem.....	11
2.2.2. Aeração e decantação.....	12
2.2.3. Tratamento químico.....	13
2.2.4. Abertura de final de linha.....	14
2.3. Recuperação de emissores.....	15
2.3.1. Tratamento com cloro.....	15
2.3.1.1. Toxicidade causada pelo cloro.....	19
2.3.2. Tratamento com ácido.....	20
2.4. Uniformidade de aplicação de água.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Caracterização do local do experimento.....	25
3.2. Descrição do equipamento.....	25
3.3. Qualidade da água de irrigação.....	28
3.4. Montagem do experimento.....	29
3.5. Descrição dos tratamentos.....	32
3.5.1. Tratamentos com ácido fosfórico.....	32
3.5.2. Tratamentos com hipoclorito de sódio.....	33
3.5.3. Tratamento com impacto mecânico.....	34
3.5.4. Tratamentos com Reciclean.....	35
3.5.5. Tratamentos com Magnum P44.....	35
3.6. Aplicação dos produtos químicos.....	36
3.7. Avaliações.....	38

3.8. Análise de custo.....	40
3.9. Análise estatística.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. Coeficiente de uniformidade de distribuição.....	42
4.2. Coeficiente de uniformidade de Christiansen.....	47
4.3. Coeficiente de variação.....	50
4.4. Distribuição do entupimento.....	53
4.5. Gotejadores completamente entupidos.....	61
4.6. Vazão.....	62
4.7. Análise de custo.....	65
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	68
6. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES.....	70
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

RESUMO

VIEIRA, Gustavo Haddad Souza. M.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2002. **Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Cláudio Mudado Silva, José Geraldo Ferreira da Silva e Márcio Mota Ramos.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficiência da utilização de ácido fosfórico, de hipoclorito de sódio e de dois produtos comerciais, bem como o impacto mecânico na desobstrução de gotejadores entupidos, devido à utilização de águas com elevado teor de ferro. O trabalho foi realizado na Fazenda Vista Alegre, localizada na estrada Lagoa Santa – Jaboticatubas, MG, próximo à cidade de Belo Horizonte. Um sistema de irrigação por gotejamento marca Plastro, provido de emissores Katif aproximadamente oito anos de funcionamento, foi adaptado para realização dos testes. Foram testados dez tratamentos de desobstrução, sendo nove com aplicação de produtos químicos e um com impacto mecânico (tratamento T6). Para os tratamentos químicos, utilizaram-se: o ácido fosfórico nos tratamentos T1 (pH 2) e T2 (pH 3); o hipoclorito de sódio nos tratamentos T3 a T5, com as respectivas dosagens de 100, 50 e 25 mg L⁻¹ de cloro; Reciclean nos tratamentos T7 e T8, com as dosagens de 50 e 25 mg L⁻¹; e Magnum P44 nos tratamentos T9 (pH 2,3) e T10 (pH 3). Foram feitas três aplicações em cada tratamento, sendo que a primeira teve duração de 10 minutos e as outras duas a duração de uma hora. Após as aplicações, o sistema era deixado em repouso por aproximadamente 12 horas, fazendo a abertura do final de linha após esse período e procedendo à avaliação do sistema. Nas avaliações, foram medidas as

vazões de 32 gotejadores por repetição, sendo oito gotejadores em cada uma das quatro linhas laterais. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Com os valores de vazão coletados, foram calculados: CUD, CUC, CV, percentagem de gotejadores em cada faixa de vazão e o número de gotejadores completamente entupidos. Foi realizada a análise estatística dos tratamentos pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade. Os custos de aplicação foram calculados para cada tratamento e comparados entre si, a fim de selecionar aquele que fornece a melhor relação benefício/custo. Diante dos resultados obtidos conclui-se: o tratamento com ácido fosfórico em pH 2,0 forneceu o melhor resultado quanto à uniformidade de irrigação do sistema, apresentando o maior aumento nos valores de CUD e CUC, e a maior redução nos valores de CV, mas possui um custo elevado. O tratamento com 25 mg L⁻¹ de cloro apresentou a melhor relação benefício/custo, sendo o mais econômico e o segundo melhor quanto à melhoria da uniformidade de irrigação do sistema. O tratamento com Magnum P44 em pH 2,3, além de não promover qualquer melhoria do sistema, apresentou o maior custo de aplicação. O tratamento com impacto mecânico é uma alternativa para recuperação de sistemas de irrigação por gotejamento em geral, com destaque para sistemas de cultivos orgânicos. O produto Reciclean não forneceu um resultado satisfatório, nas três aplicações realizadas à concentração de 50 mg L⁻¹, mas à concentração de 25 mg L⁻¹ pode ser necessário um maior número de aplicações, para que se possa tirar conclusões sobre sua efetividade.

ABSTRACT

VIEIRA, Gustavo Haddad Souza. M.S., Universidade Federal de Viçosa, November 2002. **Recovering the drippers clogged by the rusty water.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee members: Cláudio Mudado Silva, José Geraldo Ferreira da Silva and Márcio Mota Ramos.

A study was carried out to evaluate the efficiency in using the phosphoric acid, sodium hypochlorite, and two commercial products, as well as the mechanical impact for unclogging the drippers from which the blockage was due to the presence of high iron contents in water. The experiment was set up in the Vista Alegre farm, located at Lagoa Santa road, in Jaboticatubas next to Belo Horizonte county - Minas Gerais State. A dripping irrigation system (Plastro) equipped with Katif emitters that has been operating for eight years was adapted for the accomplishment of the tests. Ten unclogging treatments were tested, that is, nine of them with application of chemical products and one with mechanical impact (treatment T6). In accomplishing the chemical treatments, the phosphoric acid was used in treatments T1 (pH 2.0) and T2 (pH 3.0), sodium hypochlorite in the treatments T3 to T5 at the dosages of 100, 50 and 25 mg L⁻¹ chlorine, respectively, Reciclean in treatments T7 and T8 at the dosages of 50 and 25 mg L⁻¹, and Magnum P44 in treatments T9 (pH 2.3) and T10 (pH 3.0). Three applications were performed in each treatment, the first one lasted 10 minutes and the others two lasted one hour each. After these applications, the system was allowed to rest for approximately 12 hours, and after this period it was flushed and evaluated. In evaluations, the flow rate from 32 drippers were measured for each replicate, because there were eight drippers in each of the four lateral lines.

The randomized block experimental design was used with three replicates. The obtained values of flow rate were used to calculate the CUD, CUC, CV, the percentage of drippers in each flow rate range, and the number of the drippers completely clogged. The statistical analysis of the treatments was accomplished by Tukey test at 5% probability. The application costs of each treatment were calculated and compared with each other in order to select the one providing the best benefit/cost relation. According to the results, the following conclusions were drawn: the treatment using the phosphoric acid at pH 2.0 provided the best result, when evaluating the improvement of the uniformity in the irrigation system, since it showed the highest increase in the values of CUD and CUC and the highest reduction in CV values; however, this is a costly treatment. The treatment with 25 mg L⁻¹ chlorine presented the best benefit/cost relation, since it showed to be the cheaper one besides being the second one in improving the uniformity of the irrigation system. The treatment with Magnum P44 at pH 2.3 did not promote any increase in the uniformity of the irrigation system, besides showing the highest application cost. The treatment with mechanical impact is an alternative for recovering the dripping irrigation systems, specially for the organic cultivation systems. The product Reciclean did not provide a satisfactory result, when using three applications at a concentration of 50 mg L⁻¹. On the other hand, for a concentration of 25 mg L⁻¹ it may be necessary to make more applications in order to conclude about its effectiveness.

1. INTRODUÇÃO

Em regiões onde a precipitação pluvial não é suficiente para atender às necessidades hídricas das culturas, ou mesmo onde ela é suficiente, mas não é bem distribuída ao longo do ano, a aplicação da irrigação torna-se necessária ao pleno desenvolvimento das espécies cultivadas.

Com o aumento da população, houve um conseqüente aumento no consumo de água, tanto de forma direta (alimentação, higiene, etc) quanto indireta (irrigação, indústria, lazer, consumo animal, etc). Segundo CHRISTOFIDIS (2002), no ano 2000, do total 1,5 bilhão de ha de terras cultivadas no planeta, 275 milhões eram irrigados. Para produzir uma tonelada de arroz ou soja, são necessários 2.000 m³ de água, assim como 1.000 m³ de água, aproximadamente para obter 1 t de trigo ou milho. Estes valores elevados implicam na necessidade do desenvolvimento de equipamentos mais eficientes, que distribuam a água de forma mais uniforme e com o menor desperdício possível.

A irrigação localizada pressurizada foi utilizada pela primeira vez na Inglaterra, no final da década de 1940, e em Israel na década de 1950. Sua importância comercial ocorreu na década de 60, tendo continuidade em virtude dos trabalhos realizados em Israel e do aparecimento de tubos em material plástico relativamente baratos (VERMAIREN e JOBLING, 1997).

No Brasil, o alto custo de implantação e a limitada linha de produtos reprimiram uma maior adoção inicial do sistema de irrigação localizada pressurizada. Na década de 90, equipamentos de marcas internacionalmente tradicionais começaram a ser introduzidos no mercado nacional, o que resultou em aumento significativo na utilização deste sistema, principalmente em razão da redução nos custos fixos de implantação do equipamento.

Segundo CHRISTOFIDIS (2001), do total de área irrigada no Brasil em 1996, 4,4% (118 mil ha) era irrigada por sistemas de irrigação localizada. Em 2001, este valor aumentou para 7,9% (248 mil ha) (CHRISTOFIDIS, 2002), o que evidencia um aumento no uso deste sistema. Diante dos conflitos entre os diferentes usuários (irrigação, saneamento básico, usinas hidrelétricas), da preocupação ambiental e da cobrança pelo uso da água prevista na Lei dos Recursos Hídricos (Lei 9.433 de janeiro de 1997), existe uma tendência de que este sistema de irrigação continue ampliando sua participação no cenário nacional, pois apresenta melhor uniformidade de aplicação de água, desde que seja feita manutenção adequada, quando comparado aos métodos tradicionais de aspersão e superfície).

Um dos aspectos mais importantes a ser observado no manejo da irrigação é a uniformidade de distribuição de água pelo sistema. Na irrigação localizada, vários fatores podem comprometer esta uniformidade, tais como a desuniformidade dos emissores devido a processos de fabricação, o dimensionamento inadequado do sistema, bem como o entupimento dos emissores, causado pelas partículas minerais ou orgânicas presentes na água.

Quando o sistema está aplicando a água com baixa uniformidade, pode ocorrer o comprometimento da produtividade da lavoura. Para compensar a desuniformidade, muitos irrigantes aumentam o tempo de irrigação, para garantir que toda a área receba a quantidade de água necessária. Conseqüentemente, a economia de água, que constitui uma das grandes vantagens do sistema de irrigação por gotejamento, é eliminada mediante um consumo excessivo.

No sistema por gotejamento, a qualidade da água deve ser observada, pois, ela escoia por orifícios de pequeno diâmetro, podendo causar obstrução

devido à deposição dos materiais que carrega em suspensão. O entupimento de emissores é um grave problema associado ao gotejamento, pois, dificulta a operação de sistemas de irrigação, é de difícil detecção e a limpeza ou substituição dos emissores entupidos é onerosa.

O entupimento é ocasionado, principalmente, pela má qualidade da água de irrigação, pelos reduzidos diâmetros dos condutos e bocais dos emissores e pela lenta velocidade de escoamento.

O entupimento dos emissores pode resultar de causas físicas (areia, silte e argila), biológicas (bactéria e alga), químicas (deposição mineral) ou da combinação das mesmas.

Em muitos casos, o entupimento ocorre devido à ação bacteriana associada ao ferro. A oxidação do ferro da forma ferrosa (Fe^{2+}) para a forma férrica (Fe^{3+}) é uma reação que produz energia para algumas bactérias. Apenas uma pequena quantidade de energia é liberada dessa oxidação e, por esta razão, a ferrobactéria precisa oxidar grandes quantidades de ferro para desenvolver-se. A forma férrica forma precipitados de hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) muito insolúveis em água.

Para reduzir os problemas de entupimento, quando se utiliza água com alto teor de ferro, é necessário que a água seja tratada antes de sua entrada no sistema. Em sistemas instalados sem as devidas precauções, provavelmente ocorreram entupimentos, exigindo, assim, procedimentos de limpeza e recuperação. Nem sempre esses procedimentos conduzem a resultados economicamente satisfatórios, sendo, portanto, necessário substituir os componentes do sistema.

No tratamento preventivo de águas ferruginosas, os compostos formados causadores do entupimento podem ser retirados através do processo de oxidação (aeração) seguido por sedimentação. Neste processo, o ferro contido na água que está na forma reduzida (solúvel) passa para o estado oxidado (precipitado). No tanque de sedimentação, estas partículas de ferro sedimentam-se e a água é levada ao sistema com menor teor deste elemento.

Para o tratamento de recuperação dos emissores, existem produtos que removem o limo aderido às paredes das tubulações e gotejadores, deixando, assim, a passagem de água novamente livre.

Diversos produtos podem ser utilizados neste tratamento de recuperação. O ácido fosfórico que, ao adicionar íons hidrogênio altamente reativos à solução, dissocia os compostos insolúveis, formando compostos solúveis que podem ser removidos do sistema de irrigação. O hipoclorito que, devido ao seu poder oxidante e biocida, pode remover as deposições, por meio da oxidação da matéria orgânica e morte das ferrobactérias. O peróxido de hidrogênio atua como um forte oxidante, removendo as partículas aderidas no interior das tubulações e gotejadores. Também o fertilizante solúvel à base de ácido fosfórico em estado sólido, pode remover sedimentos aderidos no interior do equipamento de irrigação, devido à redução do pH da água.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivos:

- Avaliar a desobstrução de gotejadores, utilizando diferentes concentrações de hipoclorito de sódio (NaOCl), de ácido fosfórico (H₃PO₄), bem como dois produtos comerciais (Reciclean e Magnum P44) e um tratamento com impacto mecânico.
- Determinar a concentração do produto mais eficiente no processo de desobstrução.
- Comparar custos de aplicação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O problema de entupimento

O entupimento de emissores pode resultar de causas físicas (areia, silte e argila), biológicas (bactéria e alga), ou química (deposição mineral) (PITTS et. al., 1990). Segundo RAVINA et al. (1992), a determinação da causa exata do entupimento de emissores pode ser complexa, pois, vários agentes na água podem interagir entre si, agravando o problema.

Bucks e Nakayama (1980), citados por GILBERT e FORD (1986) apresentam uma classificação de qualidade da água, em relação ao potencial de entupimento de gotejadores, baseada em fatores físico-químico-biológicos (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Classificação da qualidade da água em relação ao potencial de entupimento de gotejadores

Fator de Entupimento	Risco de Entupimento		
	Baixo	Moderado	Severo
Físico (mg L ⁻¹)			
Sólidos suspensos	<50	50-100	>100
Químico (mg L ⁻¹)			
pH	<7,0	7,0-8,0	>8,0
Sólidos dissolvidos ^a	<500	500-2.000	>2.000
Manganês ^a	<0,1	0,1-1,0	>1,0
Ferro total ^a	<0,2	0,2-1,5	>1,5
Sulfeto de hidrogênio ^a	<0,2	0,2-2,0	>2,0
Biológico (n° mL ⁻¹)			
Número de bactérias	<10.000	10.000-50.000	>50.000

^a Concentração máxima medida, com um número representativo de amostras de água, usando procedimentos padrão para análise, em mg L⁻¹.

Fonte: GILBERT e FORD (1986).

Os pequenos diâmetros dos emissores, sobretudo no caso dos gotejadores, e as baixas velocidades da água facilitam a ocorrência de entupimentos. Estes podem ser devidos a vários agentes causadores, como é mostrado no Quadro 2.2 (PIZARRO, 1990).

Quadro 2.2 – Agentes causadores dos entupimentos

Partículas minerais	Areia
	Silte
	Argila
	Outras
Partículas orgânicas	Algas
	Bactérias
	Restos vegetais ou animais
Precipitados químicos	Sais da água
	Deposição de Fe, S e Mn
	Fertilizantes

Fonte: PIZARRO, 1990.

Segundo RAVINA et al. (1992), os emissores com maiores vazões são menos suscetíveis ao entupimento, enquanto os emissores do tipo orifício são os mais sensíveis ao entupimento. RESENDE (1999) afirma que o entupimento de

origem biológica está mais relacionado à arquitetura interna dos emissores do que aos parâmetros de vazão e diâmetro do orifício.

As medidas para reduzir o entupimento são preventivas e corretivas. As medidas preventivas consistem no tratamento químico e físico da água. As medidas corretivas se aplicam, quando o entupimento já ocorreu total, ou parcialmente, e constituem procedimentos de desobstrução, como a aplicação de água ou ar com alta pressão (PIZARRO, 1990).

2.1.1. Fatores físicos

O entupimento por fatores físicos pode ser causado por partículas inorgânicas em suspensão (areia, silte, argila) e por partículas orgânicas (fragmentos vegetais e animais, bactérias, algas, larvas, etc.). Areia, silte e outros resíduos introduzidos nas linhas laterais, durante a instalação, podem causar problemas e devem ser retirados do sistema, antes da colocação dos emissores nas mangueiras.

Água contendo sólidos em suspensão pode ser usada na irrigação localizada, se estes forem do tamanho de argila (diâmetro menor que 0,002 mm) e se não ocorrer floculação (PITTS et al., 1990, LOPES, 1998). Pesquisas têm mostrado que o uso de água com mais de 500 mg L⁻¹ de sólidos em suspensão não causa entupimento de emissores desde que sejam filtradas as partículas maiores (PITTS et al., 1985). No entanto, em certas condições, a argila pode flocular e formar agregados, causando entupimento. Argila não floculada e partículas do tamanho de silte (de 0,002 a 0,05 mm de diâmetro) são, normalmente, muito pequenas para entupir emissores (GILBERT e FORD, 1986). Geralmente, recomenda-se a remoção das partículas cujo tamanho corresponde a um décimo, ou mais, do diâmetro da passagem de água do emissor (KELLER e BLIESNER, 1990).

A turbidez da água é um indicador de sólidos em suspensão, mas, por si só ela não constitui um prognóstico exato do potencial de entupimento de uma fonte de água (GILBERT e FORD, 1986).

2.1.2. Fatores biológicos

O entupimento devido a causas biológicas é mais comprometedor em sistemas de irrigação localizada, cuja água contém fragmentos orgânicos e ferro ou sulfeto de hidrogênio. Algas em águas superficiais podem adicionar carbono orgânico ao sistema, favorecendo o desenvolvimento de limo nas paredes das tubulações. A combinação de fertilizantes e o aquecimento da água nas tubulações de cor preta, também, podem promover o crescimento de limo. A maioria das fontes de água, que contêm carbonatos e bicarbonatos, pode disponibilizar energia para alguns tipos de bactérias autotróficas formadoras de limo (GILBERT e FORD, 1986).

Segundo MARTINKO et al. (1997), a oxidação aeróbica do ferro do estado ferroso (Fe^{2+}) para o estado férrico (Fe^{3+}) é uma reação que produz energia para algumas bactérias. Porém apenas uma pequena quantidade de energia é liberada dessa oxidação, razão pela qual a ferrobactéria precisa oxidar grandes quantidades de ferro para se desenvolver. O ferro na forma de Fe^{3+} forma precipitados de hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) pouco solúveis em água. A oxidação espontânea do íon ferroso em ambientes com oxigênio e em pH neutro, é muito rápida. Não há acúmulo de quantidades significativas deste elemento em pH ácido, visto que, nestas condições, o íon ferroso é estável à oxidação química.

As ferrobactérias produzem filamentos longos, comumente denominados 'limo'. A possibilidade de sua proliferação dentro do sistema é tão importante quanto a adesão de precipitados, ou partículas, nas paredes das tubulações. O limo age como uma cola, criando aglomerações gelatinosas que podem, facilmente, entupir os emissores. Estes organismos não produzem seu próprio alimento e não requerem luz do sol para se desenvolver. No entanto, sistemas

com suprimento de água aberto são mais suscetíveis ao desenvolvimento de limo (KELLER e BLIESNER, 1990).

Há vários gêneros de bactérias que oxidam o ferro dissolvido por meio de diferentes mecanismos. *Gallionella* sp, *Leptothrix ochracea* e *Crenothrix polyspora* causam oxidação primária intracelular por ação enzimática, enquanto a oxidação secundária extracelular é causada pela ação catalítica de polímeros excretados pelos filamentos, incluindo as hastes produzidas por *Gallionella* sp., *Leptothrix* sp., *Crenothrix* sp., *Clonothrix* sp. e *Sphaerotilus* sp. A oxidação secundária extracelular, também, é causada pela ação catalítica de polímeros, excretados pelos filamentos microscópicos de aparência capilar que são abandonados pelos tricomas escorregadios de *Toxothrix trichogenes* e polímeros extracelulares que são excretados por vários *Siderocapsaceae* (MICHALAKOS et al., 1996).

Segundo PIZARRO (1990), os mais finos filtros de areia e tela podem ser atravessados por fragmentos de algas e células, que podem acumular-se no interior das tubulações. Apesar das algas produzirem obstruções, normalmente elas não constituem um obstáculo importante e não se desenvolvem na ausência de luz. Por outro lado, têm-se encontrado algas filamentosas desenvolvendo-se no interior de tubulações de PVC pouco espesso e de cores claras, bem como em fitas de exsudação.

2.1.3. Fatores químicos

A precipitação química nos emissores é o problema mais difícil de solucionar, tanto pela necessidade de tratamento prévio da água quanto pelo custo econômico desse tratamento (SUÁREZ, 1993).

O entupimento químico geralmente resulta da precipitação de sais de cálcio, magnésio, ferro ou manganês, formando incrustações que podem bloquear, parcial ou completamente, o emissor. A formação de precipitados destes sais está condicionada à sua concentração, ao pH e à temperatura. O

aumento da temperatura ou do pH reduz a solubilidade dos sais de cálcio em água, resultando na precipitação dos mesmos (PITTS et al., 1990).

A salinidade da água usada na irrigação não contribui para o entupimento de gotejadores, a menos que os íons dissolvidos interajam entre si para formar precipitados ou promover o crescimento de limo. A precipitação de carbonato de cálcio é comum em regiões áridas com águas ricas em bicarbonatos e cálcio (GILBERT e FORD, 1986).

Os elementos ferro, manganês e enxofre são solúveis em estado reduzido, mas, quando oxidados, precipitam e podem obstruir os gotejadores. A oxidação pode ser produzida por bactérias ou pelo contato com o ar ou com oxidantes contidos na água (PIZARRO, 1990). O limo filamentosso hidrofílico, que ocorre em concentrações de Fe^{2+} acima de $0,4 \text{ mg L}^{-1}$, geralmente está associado à oxidação deste por ferrobactérias (GILBERT e FORD, 1986).

O ferro precipitado apresenta-se como um tipo de limo vermelho amarronzado, amorfo, gelatinoso e filamentosso, que precipita na água ferruginosa. As deposições pegajosas de ferro entopem os emissores e causam o completo entupimento do sistema (BAR, 1995).

Segundo BOSWELL (2000), podem existir problemas de entupimento por ferro em concentrações de 0,1 ppm. O ferro dissolvido pode precipitar-se devido a mudanças na temperatura, em resposta a um aumento do pH, ou através da ação de bactérias.

O manganês é quimicamente similar ao ferro e causa problemas semelhantes. O manganês age de forma semelhante à do ferro, mas a cor do precipitado é negra (SEELIG et al. 1992). Este elemento ocorre em águas subterrâneas com menos frequência que o ferro e, geralmente, em quantidades menores. Assim como o ferro, o manganês pode precipitar-se por ação química ou biológica (BOSWELL, 2000).

2.2. Medidas preventivas

2.2.1. Filtragem

Todos os sistemas de irrigação necessitam de manutenção constante, a fim de evitar que muitos fatores venham contribuir para reduzir a qualidade da irrigação. Na irrigação localizada, a filtragem torna-se uma prática essencial ao bom funcionamento do sistema.

Existem vários tipos de filtros, como de areia, de tela, de disco e vórtex. Segundo ALLAM et al. (2002), a escolha do filtro é baseada no tamanho máximo de partículas permitido de acordo com o diâmetro da abertura do emissor, na qualidade da água de irrigação, na vazão do sistema e na perda de carga no filtro. O tamanho máximo de partícula permitido deve ser informado pelo fabricante do emissor. Por outro lado, uma regra básica consiste em usar 0,1 vezes o menor diâmetro de passagem de água do emissor. PIZARRO (1990) sugere uma classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento de acordo com o diâmetro mínimo da menor seção de escoamento, conforme apresentado no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Sensibilidade de gotejadores ao entupimento de acordo com o diâmetro mínimo da menor seção de escoamento

Diâmetro Mínimo (mm)	Sensibilidade ao Entupimento
< 0,7	Alta
0,7 – 1,5	Média
> 1,5	Baixa

Fonte: PIZARRO (1990).

Os filtros devem ser limpos (retrolavados), quando a perda de carga ultrapassar um valor máximo recomendado pelo fabricante, geralmente de 20 a 35 kPa. Alguns sistemas de filtragem possuem um sistema automático de retrolavagem.

2.2.2. Aeração e decantação

Uma forma de retirar parte do ferro da água de irrigação consiste em provocar sua oxidação e precipitação, antes do sistema de filtragem, para reter aí essas partículas. A oxidação do ferro pode ser obtida pela aeração da água por meio de arejadores de bandejas, por sistemas mecânicos, ou pela injeção de ar na água. Mesmo não eliminando totalmente o ferro, pode ser uma solução eficiente (PIZARRO, 1990).

Associada à aeração, pode-se recorrer à decantação. As formas reduzidas de manganês e ferro, quando oxidadas a compostos insolúveis, podem precipitar e ser removidas por sedimentação, antes de sua entrada no sistema de irrigação. É necessário dimensionar o tanque de decantação, onde o escoamento de água a baixas velocidades possibilita a decantação.

O comportamento de sedimentação das partículas pode ser descrito pela equação de Stokes, que é mostrada pela Equação 2.1 (NAKAYAMA, 1986).

$$V = \frac{g(d_s - d_w)D^2}{18\mu} \quad (2.1)$$

em que

V = velocidade da partícula, em cm s^{-1} ;

g = constante de aceleração da gravidade, em cm s^{-1} ;

d_s = densidade das partículas, em g cm^{-3} ;

d_w = densidade da água, em g cm^{-3} ;

D = diâmetro da partícula, em cm ;

μ = viscosidade do líquido, em $\text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1}$

CORDEIRO (2002), em trabalho que avaliou a eficiência do processo de aeração e decantação de água de irrigação com elevados teores de ferro, na prevenção do entupimento de cinco modelos de gotejadores, verificou um melhor resultado da uniformidade de aplicação de água para os emissores mais sensíveis

ao entupimento que utilizaram este processo, em comparação com os que não utilizaram.

2.2.3. Tratamento químico

O tratamento químico é sempre requerido para prevenir o entupimento de emissores, causado pelo crescimento microbiano e,ou precipitação mineral. A cloração é o método mais comum para o controle de limo bacteriano. A injeção de cloro deve ser feita antes da filtragem, de maneira a impedir o crescimento de bactérias dentro dos filtros (PITTS et al., 1990).

No tratamento preventivo com cloro, deve-se permitir que, no emissor mais distante, a água saia com uma concentração de cloro livre entre 0,5 e 1 mg L⁻¹, durante pelo menos 45 minutos. Se o tempo for menor, não há segurança em relação ao efeito bactericida. Se a concentração for menor, o efeito pode ser inverso, visto que quantidades insuficientes de cloro podem estimular o rápido crescimento de bactérias. É importante que seja medido o cloro livre, e não o cloro total (PIZARRO, 1990).

A utilização de ácidos (fosfórico, clorídrico, sulfúrico) proporciona um ambiente desfavorável ao crescimento microbiano, além de prevenir a precipitação de minerais dentro do sistema de irrigação.

BUCKS et al. (1979) relatam que xileno, permanganato, ozônio, sais de amônia quaternária, sais de cobre, acroleína, peróxido de hidrogênio, bromo e iodo são alternativas para o controle de algas e bactérias. Todos estes produtos, porém, não são de uso prático, visto que o xileno e o permanganato são de alto custo e podem ser tóxicos às plantas. O ozônio é um bom bactericida, mas não tem efeito residual nas tubulações. Sais de amônia quaternária matam bactérias e lesmas, mas são caros. Sais de cobre são largamente utilizados como algicidas. Acroleína está sendo usada na Califórnia e Flórida, EUA, mas é de difícil manipulação, bem como seu comportamento químico nas plantas é desconhecido. Outros bactericidas como peróxido de hidrogênio, bromo e iodo

têm sido usados, embora seus resultados ainda não foram comprovados como inteiramente satisfatórios em aplicações de campo.

2.2.4. Abertura de final de linha

Uma maneira de eliminar as impurezas, que acumulam no final das mangueiras, é abri-las periodicamente, permitindo, assim, que essas impurezas sejam removidas antes que causem entupimento, principalmente dos emissores localizados mais próximos ao final das mangueiras. Esta prática deve também ser associada aos outros tratamentos, visto que, desse modo, permitiria um melhor controle do entupimento dos emissores.

PITTS et al. (1990) recomendam que o processo seja iniciado com a abertura das tubulações principais, seguida das linhas de derivação, secundárias e, por último, as linhas laterais. As linhas devem ficar abertas até que saia água limpa por, pelo menos, dois minutos. Quando for feita uma fertirrigação, é recomendado eliminar todo o fertilizante das tubulações, antes de desligar o sistema, evitando, assim, a formação de deposições após a secagem do mesmo.

Para que as impurezas sejam removidas das tubulações, a velocidade da água deve ser suficientemente alta para remover e transportar as partículas desprendidas das tubulações. SMAJSTRLA e BOMAN (1999) recomendam uma velocidade em torno de 0,3 a 0,6 m s⁻¹. No caso de um sistema de irrigação por gotejamento, a velocidade deve ser a mais próxima de 0,3 m s⁻¹. Se for um sistema por microaspersão, a velocidade deve ser maior, pois, neste caso, a malha dos filtros tende a ser maior (orifícios maiores), permitindo que partículas de maior diâmetro passem e entrem nas tubulações. Segundo norma ASAE (2000), na limpeza das mangueiras, a velocidade mínima da água é 0,3 m s⁻¹.

Para obter a velocidade desejada da água nas tubulações, é necessário que o sistema seja dimensionado corretamente.

Existem válvulas automáticas para limpeza de final de linha, mas CORDEIRO (2002) não observou efeitos positivos dessas válvulas em seus

estudos, em que comparou o entupimento em cinco modelos de gotejadores, com e sem válvula. O autor relata que, possivelmente, o tempo em que a válvula ficou aberta (18 segundos) não foi suficiente para eliminar as impurezas das tubulações. É possível que esse tempo de abertura seja aumentado, trocando-se o emissor, que controla a abertura da válvula, por outro de menor vazão. Além disso, outros modelos de válvulas podem levar a um resultado diferente, visto que o princípio de funcionamento é diferente para cada modelo.

2.3. Recuperação de emissores

Quando a água de irrigação não foi devidamente tratada antes de entrar no sistema de irrigação e já ocorreu entupimento, pode-se aplicar tratamentos físicos ou químicos para limpeza dos emissores.

O tratamento físico consiste em deferir impactos mecânicos em toda a linha lateral, a fim de que as impurezas que estão causando o entupimento sejam removidas das paredes das tubulações e de dentro dos gotejadores, e sejam posteriormente removidas do sistema por meio da abertura do final da mangueira. O aumento da pressão do sistema também pode ser utilizado para auxiliar na desobstrução dos emissores.

O tratamento químico pode ser feito com produtos como cloro, ácidos e peróxido de hidrogênio, dentre outros. Cada produto deve ser selecionado de acordo com a causa do entupimento, seja ela por fatores químicos, biológicos ou físicos.

2.3.1. Tratamento com cloro

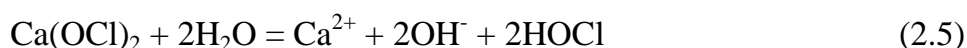
Como fonte de cloro para o tratamento químico, tem-se o hipoclorito de sódio (NaOCl), encontrado em forma líquida. Na forma sólida, tem-se o hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$), que é comumente usado no tratamento de água

de piscinas. O cloro gasoso é outra forma de tratamento existente, mas exige cuidados especiais devido à sua toxicidade, bem como equipamentos especiais para sua injeção no sistema, sendo sua utilização observada em sistemas de grande porte.

Quando se adiciona hipoclorito de sódio à água, há formação de ácido hipocloroso (HOCl) e de íons hidroxila (OH⁻), reação esta que eleva o pH da solução. O cloro torna-se mais efetivo no controle de bactérias, quando está na forma de ácido hipocloroso, sendo que a quantidade deste ácido na solução será maior em menores níveis de pH. Assim, em pH 8, somente 22% do cloro injetado estará na forma ativa (HOCl); em pH 7, aproximadamente 73%; e em pH 6, aproximadamente 96% estará nesta forma (NAKAYAMA, 1986; CLARK e SMAJSTRLA, 1999).

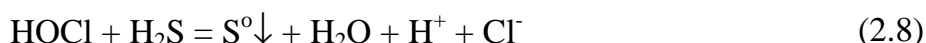
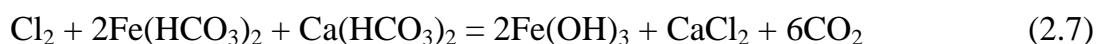
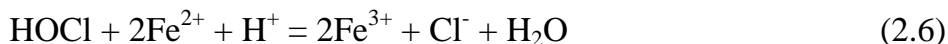
O hipoclorito de cálcio pode reagir com outros íons ou compostos presentes na água de irrigação para formar precipitados, que podem entupir os emissores. Assim, o cloro na forma líquida (hipoclorito de sódio) deve ser usado, preferencialmente ao hipoclorito de cálcio, em sistemas de irrigação, especialmente quando a fonte de água é rica em minerais, (CLARK e SMAJSTRLA, 1999).

A seguir, são listadas as várias formas de cloro e as reações comumente aplicáveis a águas de irrigação localizada (NAKAYAMA, 1986).



Quando o gás cloro é injetado na água, ele reage para formar ácido hipocloroso, HOCl, íons hidrogênio, H⁺, e íons cloreto, Cl⁻ (Equação 2.2). O HOCl pode dissociar-se, formando ânion hipocloroso, OCl⁻ (Equação 2.3). Nesta reação, os íons hidrogênio formados abaixarão o pH. O hipoclorito de sódio e o

hipoclorito de cálcio (Equações 2.4 e 2.5, respectivamente) quando reagem, a hidrólise na água produz íons hidroxila (OH⁻), que aumentará o pH da água (NAKAYAMA, 1986).



O ácido hipocloroso pode oxidar o íon ferro solúvel (Fe²⁺) para íon férrico (Fe³⁺) e, neste caso, o hidróxido de ferro insolúvel (Fe(OH)₃) pode ser facilmente formado (Equações 2.6 e 2.7). Reações semelhantes ocorrem com o íon manganês (Mn²⁺). Pode também ocorrer reação entre cloro e sulfeto de hidrogênio, formando enxofre elementar, S⁰↓ (Equações 2.8 e 2.9), (NAKAYAMA, 1986).

Segundo FAIR et al. (1968), a solubilidade e o tamanho da partícula do Fe³⁺ dependem do pH do meio. Oxidantes, como o cloro, podem oxidar o Fe²⁺ prontamente, mesmo em pH ácido. Como o cloro é um forte agente oxidante, ele reage com substâncias reduzidas e, dependendo da natureza das substâncias presentes na água, o átomo de cloro muda para íon cloreto ou cloreto orgânico, pelo ganho de elétrons. As substâncias orgânicas podem incluir Fe²⁺, Mn²⁺ e H₂S, juntamente com a maior parte do material orgânico (vivo e morto). A resposta do material orgânico é, geralmente, lenta e sua extensão depende da quantidade de cloro disponível presente em excesso.

Algumas empresas de saneamento afirmam que nitratos podem ser removidos pela cloração, mas a adição de cloro apenas previne a redução do nitrato a nitrito, que pode ser tóxico, e não a remoção do nitrito da água (BERGSRUD et al., 1992).

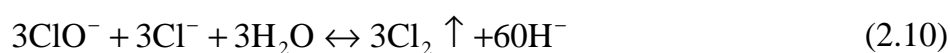
Segundo GILBERT e FORD (1986), a recuperação de emissores parcialmente entupidos tem sido conseguida em muitos casos. No caso de depósito de limo, a remoção ocorre com clorações em níveis elevados (1000 mg L^{-1}), mas requer muito cuidado, a fim de prevenir efeitos adversos nas plantas. Relatam que, na Flórida, emissores com pequenas quantidades de limo (pequenas reduções na vazão) têm sido recuperados, utilizando-se 250 mg L^{-1} de hipoclorito de sódio, por pelo menos 12 horas, sem a ocorrência de efeitos adversos em cultivos de citros.

RESENDE (1999) encontrou resultados mais positivos, utilizando uma dose de 300 mg L^{-1} de cloro, na forma de hipoclorito de sódio, em aplicações para desentupimento de cinco modelos de emissores.

De acordo com PIZARRO (1990), a recuperação de emissores entupidos por microorganismos é difícil, enquanto os elevados custos desta operação muitas vezes implicam na troca desses emissores. Em emissores parcialmente obstruídos, recomenda-se a aplicação, durante 12 horas, de cloro às concentrações de 250 a 500 mg L^{-1} , seguida de lavagem com água sob pressão.

Segundo PITTS et al. (1990), o ácido pode ser usado para abaixar o pH da água e reduzir o potencial de precipitação química, aumentando a efetividade do cloro injetado. Ácido sulfúrico (H_2SO_4), clorídrico (HCl), fosfórico (H_3PO_4) e nítrico (HNO_3) são usados para este propósito.

É importante ressaltar que o hipoclorito e o ácido não devem ser misturados na forma concentrada, pois, ocorrerá desprendimento de grande quantidade de cloreto na forma gasosa, com forte poder de intoxicação. As reações decorrentes desta mistura podem ser observadas nas Equações 2.10 e 2.11.



2.3.1.1. Toxicidade causada pelo cloro

Há de se pensar nos efeitos adversos que o cloro venha a causar nas culturas. O cloro pode ser tóxico para culturas, como o fumo, algumas variedades de soja, batata e certas frutíferas, especialmente a videira. Os efeitos variam de acordo com as variedades da cultura ou do porta-enxerto e a intenção de uso da cultura (LOPES, 1998).

Segundo MALAVOLTA (1986), pode haver toxidez provocada pelo cloro, resultante do uso de doses excessivas de cloreto de potássio em solos com lençol freático muito profundo, ou em períodos de seca. Ainda assim, o cafeeiro parece muito tolerante: as folhas podem ter até 5000 mg L⁻¹ de cloro sem que os sintomas se manifestem (secamento das pontas e margens das folhas mais velhas, em primeiro lugar). Relata que, em trabalho publicado em 1969, Catani e colaboradores analisaram folhas de plantas que receberam 664 g de KCl por cova, encontrando até 5649 mg L⁻¹ de cloro nas folhas, não constatando anomalias externas.

O Quadro 2.5 apresenta a tolerância de algumas culturas à concentração de cloro na água de irrigação ou no solo, segundo AYERS e WESTCOT (1985). Em geral, esses autores citam que a qualidade da água de irrigação deveria ter as seguintes restrições, quanto ao uso em determinado sistema: para aspersão, até um valor de 106 mg L⁻¹ a água de irrigação não teria restrições de uso, e acima deste valor, esta água possui um severo grau de restrição ao uso. Para irrigação por superfície, até 141 mg L⁻¹ não possui restrição ao uso, enquanto deste valor até 355, a restrição é moderada e, acima deste valor, é severa.

Quadro 2.5 - Tolerância de algumas culturas à concentração de cloro na água de irrigação ou no solo

Culturas	Concentração de Cloro, em mg L ⁻¹	
	Na zona radicular	Na água de irrigação
Abacate	213,0	142,0
Pomelo	887,5	585,8
Tangerina	887,5	585,8
Limão	532,5	355,0
Ponkan	532,5	355,0
Laranja	355,0	248,5
Uva	355,0	248,5
Ameixa	355,0	248,5
Morango	177,5	106,5

Fonte: AYERS e WESTCOT (1985).

2.3.2. Tratamento com ácido

Segundo PIZARRO (1990), quando as obstruções já ocorreram, a limpeza é feita mediante aplicação de ácidos. O método mais econômico consiste em injetar o ácido nas tubulações. Entretanto, às vezes as obstruções estão tão desenvolvidas que o método não é eficaz. Neste caso, pode-se desobstruir os emissores, introduzindo-os em banhos de ácido.

Os ácidos podem ser usados para abaixar o pH da água de irrigação e reduzir o potencial de precipitação química. Se o ácido é injetado, continuamente, para prevenir a precipitação de cálcio e magnésio, a taxa de injeção deve ser ajustada até que o pH da água esteja ligeiramente abaixo de 7,0. Se a injeção de ácido é usada para remover crostas dentro do sistema de irrigação, o pH deve ser ainda mais baixo. Deve-se minimizar o despejo de água no solo, durante este processo, pois, há possibilidade de danos ao sistema radicular das culturas. Uma quantidade conhecida de ácido deve ser injetada no sistema de irrigação, e deve permanecer no sistema por algumas horas. Depois, o

sistema deve ser lavado com água de irrigação. Deve-se evitar concentrações que possam ser prejudiciais aos emissores e outros componentes do sistema. Os ácidos sulfúrico (H_2SO_4), clorídrico (HCl), fosfórico (H_3PO_4) e nítrico (HNO_3) são usados para este propósito (PITTS et al., 1990).

O tratamento com ácidos reduz o pH da água, de maneira que compostos e precipitados que estão fortemente unidos e insolúveis sob condições normais, possam dissociar. O ácido fornece uma grande quantidade de íons hidrogênio altamente reativos à água de irrigação. Este hidrogênio reage com os ânions dissociados para formar compostos solúveis que podem ser levados para fora do sistema (ROMAN, 1999).

Meyer (1985), citado por SUÁREZ (1993), recomenda a acidificação a pH 2 até que a água acidificada comece a sair pelos emissores, deixando o ácido nas tubulações durante uma hora, lavando as tubulações posteriormente. A operação deve ser repetida tantas vezes quanto necessário, porém, se os emissores estiverem completamente bloqueados, deverão ser desmontados, lavados com ácido e instalados novamente.

COSTA (2000) observou que a aplicação de ácido clorídrico, com sobrepessão e com o pH variando entre 4,5 a 6,5, proporcionou o desentupimento de até 65% dos emissores que estavam completamente obstruídos.

PIZARRO (1990) sugere uma metodologia para limpeza dos sistemas, utilizando ácido como agente de limpeza. Segundo o autor, a injeção de ácido não deve ser feita simultaneamente em toda a instalação, mas separadamente por unidades ou subunidades, a fim de controlar melhor a operação. Deve-se adicionar ácido à água em quantidade suficiente para abaixar o pH da mistura até 2. A aplicação de água e ácido deve ser feita à menor pressão possível. Quando se comprova que a água acidificada sai pelo emissor mais distante, a injeção da solução é interrompida por uma hora. Após este procedimento, injeta-se água na instalação, com a maior pressão possível, para efetuar a limpeza, abrindo em seqüência os extremos das tubulações principais, os das linhas de derivação e das linhas laterais, de modo que a água remova o material desprendido, evitando,

assim, o entupimento dos emissores. Após limpar as tubulações, mantém-se a aplicação de água por 15 minutos para proceder à limpeza dos emissores.

2.4. Uniformidade de aplicação de água

Quando ocorre o entupimento dos emissores, há um decréscimo na uniformidade de distribuição de água, acarretando perdas na produtividade das lavouras e conseqüente perda de capital da empresa rural.

Para determinar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por gotejamento, é necessário realizar a medição das vazões dos gotejadores ao longo das linhas laterais. Conhecendo as vazões dos gotejadores, pode-se calcular a uniformidade de distribuição do sistema, por meio de várias equações.

Um modo prático de representar, numericamente, a uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação é o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (KELLER e KARMELI, 1975). O CUD indica a uniformidade de aplicação ao longo do sistema e é calculado pela Equação 2.12.

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (2.12)$$

em que

$q_{25\%}$ = média do menor quartil das vazões observadas, em $L h^{-1}$; e

q_m = vazão média dos gotejadores, em $L h^{-1}$.

Segundo a norma ASAE (1996), os valores de CUD podem ser classificados conforme apresentado no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Classificação dos valores de CUD para sistemas de irrigação localizada

CUD	Classificação
87 – 100	Excelente
75 – 87	Bom
62 – 75	Razoável
50 – 62	Ruim
< 50	Inaceitável

Fonte: ASAE (1996).

Outra equação, que pode ser usada para determinar a uniformidade de aplicação do sistema, é aquela proposta por Christiansen (Equação 2.13). O uso desta equação permite a obtenção de resultados bastante confiáveis, porém, requer a medição da vazão de todos os gotejadores do sistema, conseqüentemente, muito tempo e muita mão-de-obra (BERNARDO, 1995).

Entretanto, outros autores (WU e GITLIN, 1974; RODRIGO et al. 1992) não citam esta restrição ao uso da equação de Christiansen. Segundo RODRIGO et al. (1992), a determinação de CUC com os emissores que irrigam 16 plantas, previamente selecionadas, impede a aplicação de critérios estatísticos e, conseqüentemente, a definição dos limites de confiança para uma determinada probabilidade. Este total de plantas poderá ser ou não suficiente, em função dos valores reais de CUC. Quanto mais baixo o valor de CUC, maior deverá ser o número de observações realizadas. Todavia foi comprovado que, a partir de 24 observações, os valores reais de CUC praticamente não variam.

A equação de Christiansen é expressa por

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{nq_m} \right) \quad (2.13)$$

em que

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

q_i = vazão de cada gotejador, em $L h^{-1}$;
 q_m = vazão média dos gotejadores, em $L h^{-1}$; e
 n = número de observações

A uniformidade de sistemas de microirrigação pode também ser expressa em termos de coeficiente de variação (CV), que é a razão do desvio padrão pela média. O desvio padrão (Sd) e o CV são definidos nas equações 2.14 e 2.15, respectivamente (ASAE, 1996) .

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (q_i - q_m)^2}{n - 1}} \quad (2.14)$$

$$CV = \frac{Sd}{q_m} \quad (2.15)$$

em que

q_i = vazão observada, em $L h^{-1}$;
 q_m = média das vazões observadas, em $L h^{-1}$; e
 n = número de observações.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local do experimento

O experimento foi realizado na Fazenda Vista Alegre, localizada no município de Jaboticatubas – MG. Nesta fazenda, a cafeicultura irrigada ocupa uma área de 300 ha, sendo 90 ha irrigados com pivô central e 210 ha com gotejamento.

Uma análise preliminar da água de irrigação indicou um teor de ferro total igual a $0,7 \text{ mg L}^{-1}$, o que a classifica como sendo de moderado poder de entupimento, segundo BUCKS e NAKAYAMA (1980).

Este local foi escolhido para realização da pesquisa porque a água de irrigação continha elevado teor de ferro total, o sistema de irrigação apresentava problemas visíveis de entupimento, além das facilidades operacionais oferecidas.

3.2. Descrição do equipamento

A área é irrigada por um sistema de irrigação por gotejamento marca Plastro, emissores Katif, com vazão nominal de $2,3 \text{ L h}^{-1}$, autocompensantes, espaçados de 0,8 m entre si, em linhas de 90 m de comprimento com cerca de

oito anos de funcionamento. A Figura 3.1 apresenta um corte do gotejador com seus componentes e dimensões.

O equipamento possui um cabeçal de controle constituído por filtros de tela e disco, bomba injetora de fertilizantes e válvulas de controle de vazão, de alívio e anti-vácuo, (Figura 3.2).

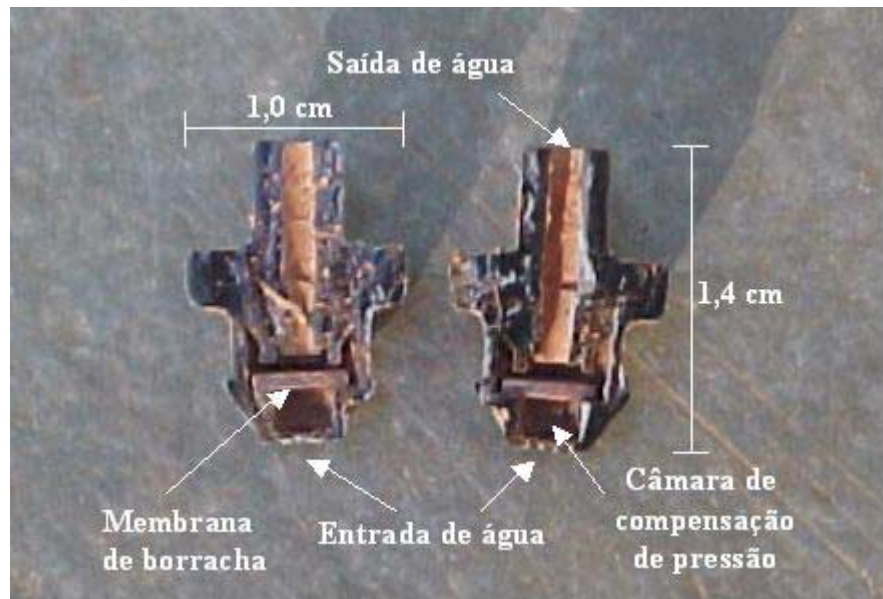


Figura 3.1 – Corte de um gotejador mostrando seus componentes e dimensões.



Figura 3.2 – Cabeçal de controle mostrando filtros e válvulas .

Constataram-se problemas de entupimento dos emissores, além da formação de mucilagem nas paredes internas das tubulações, o que se pode observar nas Figuras 3.3 e 3.4.

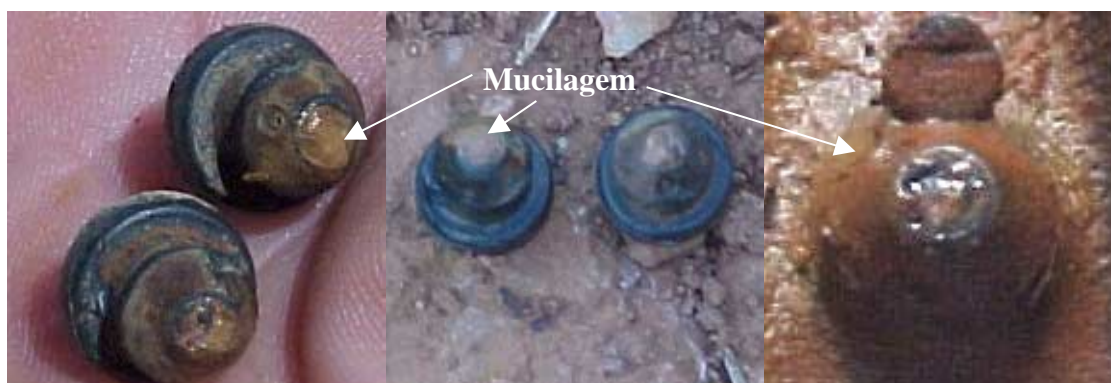


Figura 3.3 – Detalhe mostrando a formação de mucilagem na entrada dos gotejadores e nas paredes internas das tubulações.



Figura 3.4 – Mucilagem formada nas paredes internas das mangueiras com detalhe de uma raspagem feita com canivete em um segmento de mangueira.

O equipamento apresentou problemas de perfuração das membranas (Figura 3.5) do sistema de autocompensação de pressão, existentes no interior dos gotejadores, ocasionados por tentativas de desentupimento realizadas pela equipe da Fazenda, utilizando hastes de arame. Com a perfuração das

membranas, o gotejador deixa de ser auto-compensante e sua vazão aumenta, reduzindo a uniformidade de aplicação de água do sistema.

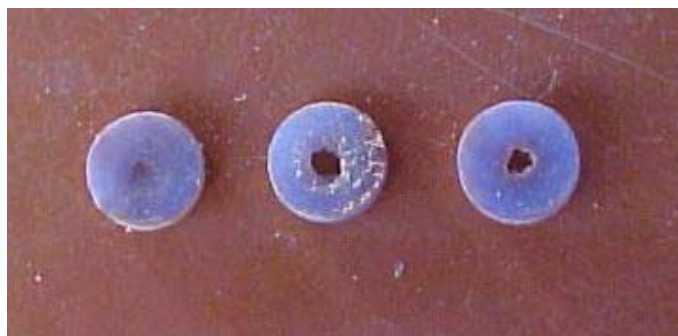


Figura 3.5 – Membranas perfuradas devido à inserção de segmentos metálicos nos gotejadores.

3.3. Qualidade da água de irrigação

O resultado da análise da água utilizada no equipamento de irrigação da Fazenda Vista Alegre, onde o experimento foi realizado, é apresentado no Quadro 3.1.

Para realizar a análise da água, utilizou-se a metodologia estabelecida no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,” 20th edition-1998.

Como se observa no Quadro 3.1, a água possui um risco de entupimento moderado em relação à presença de ferro total e pH, conforme classificação proposta por BUCKS e NAKAYAMA (1980). Em relação à dureza total em CaCO_3 , AZEVEDO NETTO (1987) classifica esta água como sendo moderadamente dura, o que pode causar problemas de incrustação. A confirmação da presença de ferrobactérias do gênero *Leptothrix* ajuda a justificar o entupimento dos emissores.

Quadro 3.1– Resultado da análise da água utilizada na irrigação da Fazenda Vista Alegre e sua classificação em relação ao risco de entupimento de gotejadores

Parâmetro analisado	Resultado	³ Classificação
¹ pH	7,6	Moderado
¹ Sólidos dissolvidos	181,10 mg L ⁻¹	Baixo
¹ Sólidos em suspensão	<0,50 mg L ⁻¹	Baixo
² Alcalinidade total em CaCO ₃	138,50 mg L ⁻¹	Moderado
² Dureza total em CaCO ₃	134,13 mg L ⁻¹	Moderado
¹ Sulfetos	<0,002 mg L ⁻¹	Baixo
¹ Ferro total	0,39 mg L ⁻¹	Moderado
¹ Manganês total	<0,05 mg L ⁻¹	Baixo
Ferrobactéria	<i>Leptothrix sp.</i>	Positivo

¹ Classificação segundo BUCKS e NAKAYAMA (1980);

² Classificação segundo o Serviço Geológico Norte-Americano (AZEVEDO NETTO, 1987);

³ Classificação em relação ao risco de entupimento de gotejadores.

De um modo geral, esta água possui um risco moderado para entupimento dos gotejadores. Entretanto, como o equipamento não recebeu manutenção preventiva, ocorreu o entupimento de maneira severa, reduzindo, drasticamente, a uniformidade de aplicação de água do sistema.

3.4. Montagem do experimento

Para realização do experimento, foi necessário fazer uma alteração no sistema de irrigação, de modo que a execução dos trabalhos não interferisse no manejo usual do sistema de irrigação da fazenda. Uma mangueira de polietileno de 25mm de diâmetro foi estendida, perpendicularmente às linhas laterais e paralela à linha de derivação. Essa mangueira foi conectada a um cavalete de entrada de setor para conduzir a água até as linhas laterais, que foram cortadas e conectadas à mangueira. O experimento foi dividido em parcelas com quatro linhas laterais consecutivas de, aproximadamente, 90 m de comprimento, que

representaram cada repetição. Na entrada de cada parcela, foi colocada uma válvula de gaveta para controlar a pressão, devido às condições topográficas do local (Figura 3.6). Essa montagem permitiu que os tratamentos fossem isolados, a fim de permitir a entrada de água somente nas linhas laterais desejadas. A Figura 3.7 (A e B) apresenta as adaptações feitas no equipamento.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. Cada repetição constou de quatro linhas laterais consecutivas.

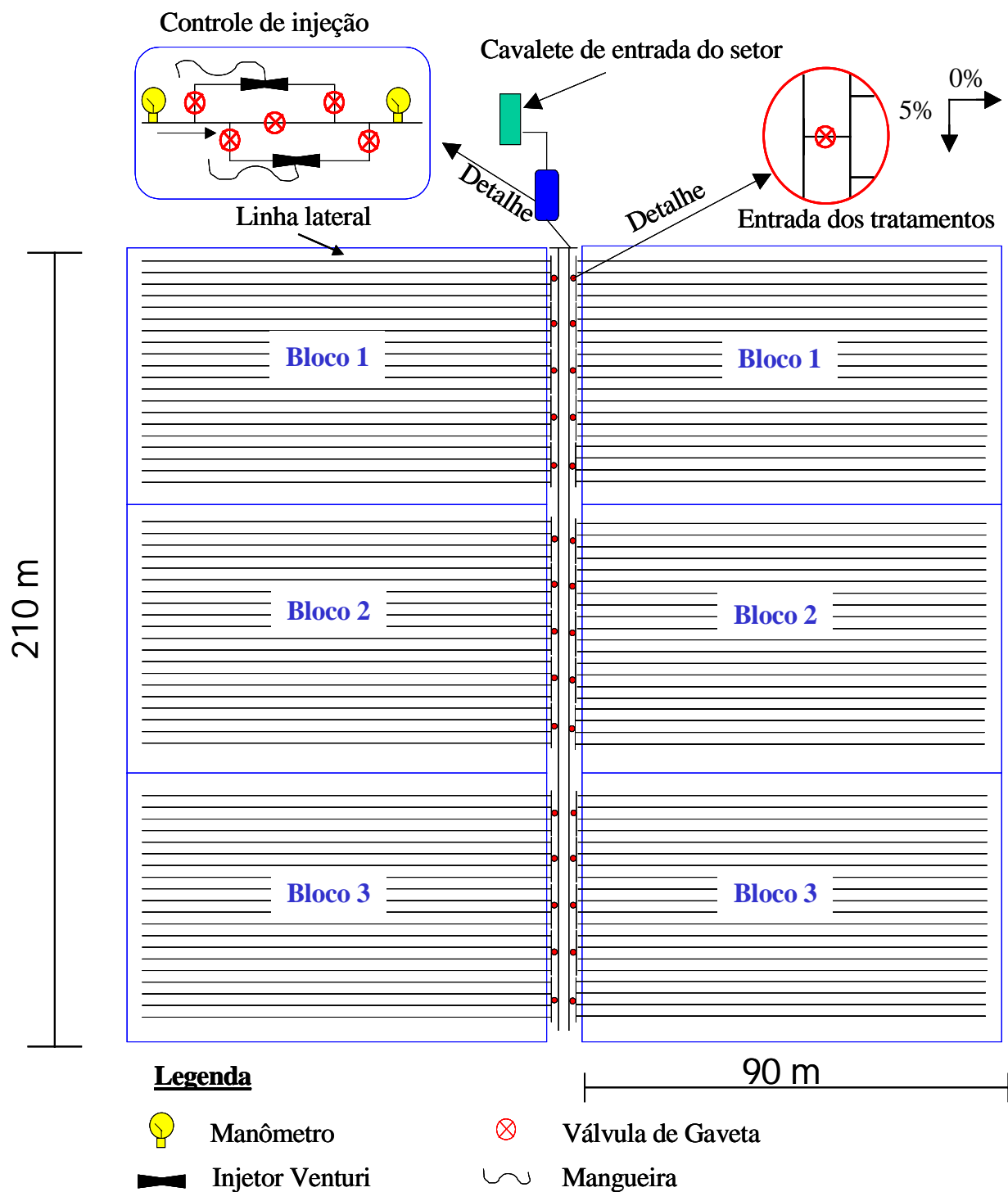


Figura 3.6 – Representação esquemática da montagem feita para realização do experimento.



Figura 3.7 – Conexão da mangueira secundária com a linha lateral (A); derivação no cavalete de entrada de setor (B); controle de injeção após cavalete (C).

3.5. Descrição dos tratamentos

Foram testados quatro produtos químicos, sendo três deles com duas concentrações, um com três concentrações e um tratamento físico de impacto mecânico na recuperação de gotejadores obstruídos, totalizando dez tratamentos (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Especificação dos tratamentos aplicados

TRATAMENTO	PRODUTO	CONCENTRAÇÃO	OBSERVAÇÃO
T1	Ácido Fosfórico (85%)	Titulação até pH 2	Recomendação
T2		Titulação até pH 3	Acima da recomendação
T3	Hipoclorito de Sódio (12%) + Ácido	100 mg L ⁻¹	200% da recomendação
T4		50 mg L ⁻¹	Recomendação
T5		25 mg L ⁻¹	50% da recomendação
T6	-----	-----	Impacto mecânico
T7	Reciclean	50 mg L ⁻¹	200% da recomendação
T8		25 mg L ⁻¹	Recomendação
T9	Magnum P44	Titulação até pH 2,3	Recomendação
T10		Titulação até pH 3	Acima da recomendação

3.5.1. Tratamentos com ácido fosfórico

Nos tratamentos com ácido fosfórico, foram testados dois níveis de pH diferentes, sendo que no Tratamento T1 utilizou-se um pH da água igual a 2,

conforme recomendado na literatura, e no Tratamento T2, o pH igual a 3, para testar o efeito de uma concentração menor do ácido. Para determinar a quantidade de ácido a ser adicionada à água de irrigação, foi feita uma titulação. O ácido foi diluído à razão de 1:100 em água destilada, para facilitar o trabalho e diminuir o risco de erros. Tomou-se um recipiente com uma amostra de um litro de água utilizada na irrigação e, aos poucos adicionou-se o ácido, anotando os valores de pH. Com os resultados obtidos, desenhou-se um gráfico da curva de titulação. Durante as aplicações, foram coletadas amostras de água nos gotejadores, para confirmação do pH da solução.

Devido à grande concentração de íons hidrogênio altamente reativos nas condições de baixo pH da solução, a reação destes com o material depositado no interior das tubulações dissolve o material mucilaginoso, que pode ser levado para fora do sistema.

3.5.2. Tratamentos com hipoclorito de sódio

Foram realizados três tratamentos com hipoclorito, denominados T3, T4 e T5, utilizando-se uma concentração de cloro ativo igual a 100, 50 e 25 mg L⁻¹, respectivamente.

Nesses tratamentos, usou-se o hipoclorito de sódio (NaOCl), que contém 12% de cloro ativo, juntamente com ácido fosfórico (H₃PO₄) 85%. O ácido foi utilizado para abaixar o pH da solução, pois, quando se adiciona o hipoclorito à água, ocorre um aumento no pH, o que não é desejado.

Foi feita uma titulação da água de irrigação com o ácido, para cada tratamento. Para isso, o hipoclorito foi adicionado a um litro de água, até atingir a concentração desejada, verificando o aumento do pH da solução e, de posse de um medidor de pH digital, foi-se adicionando o ácido à solução e anotando-se os valores de pH. Com esses resultados, foi desenhada uma curva de titulação para encontrar a quantidade de ácido a ser adicionada por volume de solução. O pH da

água foi mantido em torno de 5,0, de modo a permitir uma maior concentração de ácido hipocloroso na solução.

Para a injeção do hipoclorito e do ácido, foi necessário usar dois injetores venturi, visto que não se deve misturá-los no mesmo recipiente, a fim de evitar possíveis reações químicas indesejáveis.

Durante as aplicações, foram coletadas amostras de água nos gotejadores mais distantes do sistema de injeção e medidos o pH e o teor de cloro livre da solução. Para isso, foram utilizados um medidor de pH e um kit da marca HACH, que mostra o resultado em um disco colorimétrico em uma escala de 0 a 3,5 mg L⁻¹. Este kit utiliza como reagente o D.P.D. (N - dietil - p - fenil - diamina), que mede apenas o cloro livre.

Devido à ação biocida do ácido hipocloroso, estes tratamentos visam matar as ferrobactérias, evitando a formação de mucilagem de origem biológica. O poder dispersante e oxidante de altas concentrações do hipoclorito de sódio ajuda na oxidação da matéria orgânica presente no limo bacteriano, dissolvendo a massa mucilaginosa e removendo-a do sistema, na abertura do final de linha.

3.5.3. Tratamento com impacto mecânico

Este tratamento foi realizado, por ser um procedimento comum entre muitos agricultores, para recuperação/manutenção de seus sistemas de irrigação. Além disso, são necessários estudos sobre métodos de desentupimento que dispensam o uso de produtos químicos, objetivando seu uso na agricultura orgânica.

O tratamento consistiu na aplicação de golpes, com uma vareta metálica, sobre toda a extensão das mangueiras, a fim de desprender as incrustações das paredes internas das mangueiras e do interior dos gotejadores, as quais são eliminados do sistema. Este procedimento foi feito com o sistema ligado e os finais de linha abertos. O tempo gasto na operação foi cronometrado e utilizado para estimar o custo da mão-de-obra gasta no tratamento.

3.5.4. Tratamentos com Reciclean

Reciclean é um produto comercial desenvolvido com a finalidade de limpeza de sistemas de irrigação e é fabricado pela empresa Kemira. É um produto de dois componentes: Reciclean W1, que contém 35% de peróxido de hidrogênio e Reciclean W2, que contém 15% de ácido fórmico. Estes componentes são misturados na proporção de 1:1 em volume, oito horas antes da aplicação, para permitir a ocorrência da reação. Foram testadas duas concentrações, sendo elas 50 e 25 mg L⁻¹, respectivamente aos tratamentos T7 e T8.

A ação oxidante e o poder biocida do peróxido de hidrogênio podem contribuir para a remoção dos sedimentos e morte das ferrobactérias causadoras de entupimento, deixando o sistema em condições de funcionamento novamente. Segundo FAIR et al. (1968), o peróxido de hidrogênio é um forte oxidante, mas pobre desinfetante.

3.5.5. Tratamentos com Magnum P44

Magnum P44 é um fertilizante sólido de alta solubilidade, utilizado em fertirrigação. É composto por 18% de nitrogênio total (na forma amídica) e 44% de fósforo total (na forma de P₂O₅), com uma solubilidade de 99,8% em 10% de solução. Devido ao baixo pH da solução, é possível que o produto contribua para a limpeza do sistema de irrigação, removendo as deposições formadas no interior das tubulações.

Os tratamentos T9 e T10 foram aplicados em dois níveis de pH, ou seja, 2,3 e 3, respectivamente. Para determinar a quantidade de produto a ser aplicada, foi feita uma titulação. O produto foi dissolvido à razão de 1:100 em água destilada, pois, como se encontra na forma sólida, de outra forma não seria possível fazer a titulação.

No tratamento T9, utilizou-se um pH igual a 2,3 porque a quantidade do produto a ser usada para atingir um pH igual a 2 seria muito alta, o que implicaria em alto custo. Desse modo, o fabricante sugeriu a utilização de um pH maior.

Para aplicação, o produto foi dissolvido em um galão com água e injetado no sistema. Os demais procedimentos foram iguais àqueles seguidos nos outros tratamentos.

3.6. Aplicação dos produtos químicos

Os produtos químicos foram injetados na tubulação por meio de um sistema de controle de injeção, constituído de dois injetores Venturi, cinco válvulas de gaveta, dois manômetros e conexões, conforme apresentado na Figura 3.7(C). Foi necessária a instalação de dois injetores, pois, no caso de aplicação de cloro, deve-se aplicar o ácido separadamente a fim de evitar possíveis reações químicas (Equações 2.10 e 2.11).

O modo de aplicação foi semelhante em todos os tratamentos, fazendo-se três aplicações em cada um. Após a primeira avaliação, era feita a primeira aplicação, com duração de dez minutos. A segunda e a terceira aplicações foram feitas com duração de uma hora cada. A aplicação de dez minutos foi necessária para evitar que ocorresse o problema de desprendimento de partículas maiores e estas fossem parar dentro do gotejador, piorando, ainda mais, o problema de entupimento.

O volume de calda é calculado por meio da Equação 3.1.

$$V_c = T_i T \quad (3.1)$$

em que

V_c = volume de calda a ser preparada, em L;

T_i = taxa de injeção, em $L h^{-1}$; e

T = tempo de aplicação, em h.

Para cada produto, o cálculo da quantidade a ser aplicada é diferenciado. No caso do ácido, este cálculo é feito por meio da Equação 3.2.

$$V_a = C_a W \quad (3.2)$$

em que

V_a = Volume de ácido a ser aplicado, em L;

C_a = Concentração de ácido na solução, em mL L⁻¹; e

W = Volume de água a ser tratada, em m³.

Para calcular a quantidade de hipoclorito, utiliza-se a Equação 3.3.

$$M_h = \frac{C_c W}{10Y} \quad (3.3)$$

em que

M_h = Massa de hipoclorito, em kg;

C_c = Concentração de cloro desejado na solução, em mg L⁻¹;

W = Volume de água a ser tratada, em m³; e

Y = Concentração de cloro no hipoclorito, em %.

Para converter a massa de hipoclorito em volume (L), basta dividir a massa (kg) pela densidade, que no caso do hipoclorito de sódio é 1,2. Deve ser adicionado um fator de segurança, pois, as partículas e os íons presentes na água podem reagir com o cloro, fazendo com que a quantidade de cloro ativo na solução seja menor. Para as aplicações dos tratamentos, realizou-se um teste, adicionando-se uma quantidade conhecida de hipoclorito a um volume conhecido de água. Mediu-se o teor de cloro contido na solução e, a partir desse valor, estimou-se a quantidade extra de hipoclorito que deveria ser adicionada para que a concentração desejada seja atingida.

A concentração de ácido é obtida através da titulação da água com o ácido a ser utilizado na aplicação do tratamento.

Para determinar a taxa de injeção, usou-se uma proveta graduada de dois litros e um cronômetro. Ao inserir a mangueira do injetor na proveta, o cronômetro era disparado e, ao término da injeção de um litro de água, o tempo gasto era anotado. Foram feitas três repetições consecutivas e, para cada aplicação, era feita uma nova medição da taxa de injeção.

Terminada a aplicação, o sistema era imediatamente desligado e deixado em repouso por aproximadamente 12 horas, quando era feita a abertura dos finais de linha e ligado o sistema novamente para realizar a lavagem das mangueiras. As mangueiras eram fechadas assim que se constatava que saísse água limpa por pelo menos dois minutos (Figura 3.9), garantindo assim, que todo o material desprendido fosse eliminado do sistema. Terminado o processo de limpeza, imediatamente era feita outra avaliação.



Figura 3.9 – Detalhe da abertura de final de linha mostrando a eliminação de partículas desprendidas e a água limpa após o processo de limpeza.

3.7. Avaliações

As avaliações foram realizadas, seguindo-se a metodologia proposta por KELLER e KARMELI (1975), modificada por DENÍCULI et al. (1980). Foram avaliadas 4 linhas laterais, ou seja, a primeira linha, as localizadas a 1/3, a 2/3 do início da parcela e a última. Em cada linha, foram avaliados 8 gotejadores, isto é, o primeiro, os localizados a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 do início da mangueira e o último, totalizando 32 gotejadores avaliados por setor.

Antes do início da avaliação, a pressão na entrada do setor e no final das linhas laterais foi conferida, a fim de evitar que uma variação entre uma avaliação e outra interferisse nos resultados.

Foram utilizados coletores de 350 mL e hastes de alumínio, que podem ser observados na Figura 3.8(A e B). Os gotejadores, suspensos a 30 cm do solo, foram marcados com as hastes para avaliações posteriores.

Para otimizar o tempo de avaliação, os coletores foram colocados em grupos de quatro unidades, com um intervalo de tempo igual a 30 segundos entre um coletor e outro. Ao final de 3 minutos, o primeiro coletor era retirado e, após 30 segundos, o segundo e assim, sucessivamente, até o quarto.

Ao final das coletas, os volumes eram medidos em uma proveta graduada, anotados em planilhas e calculada a vazão ($L h^{-1}$). Os coletores eram deixados na marcação até a próxima avaliação, para facilitar a visualização dentro da lavoura, conforme apresentado na figura 3.8(B).



Figura 3.8 – Coleta de volume (A); Marcações dos gotejadores (B).

Terminada a avaliação, eram medidas as pressões no final de cada mangueira, para confirmar que não houve problemas durante a avaliação. Caso contrário, a avaliação era repetida.

3.8. Análise de custo

A fim de selecionar o tratamento com a melhor relação benefício/custo, foi realizada uma análise de custo. Para o cálculo, considerou-se o valor dos produtos químicos gastos nas aplicações, para um volume de um metro cúbico de água e para um hectare, considerando a cultura existente no local do experimento com suas características descritas no início deste capítulo. O volume de água tratada foi calculado, estimando-se a vazão média dos gotejadores contidos na parcela (tratamento). Para o tratamento físico, foi considerado o custo por hectare, medindo-se o tempo gasto, por pessoa, para a limpeza de cada linha lateral, extrapolando-se o valor para um hectare. Os preços dos produtos foram consultados junto aos fornecedores.

Para os tratamentos de T3 a T5, foram computados os gastos com o hipoclorito e o ácido fosfórico. Para determinar o custo da mão-de-obra no tratamento T6, o tempo gasto na limpeza de uma mangueira foi cronometrado, considerando-se ainda, o tempo gasto na abertura dos finais de linha e o tempo de espera para expulsão do material desprendido da mangueira. Foi considerado um número de 28 linhas laterais por hectare, devido ao espaçamento de 3,5 m entre linhas. Considerou-se uma jornada de trabalho de sete horas por dia, em vinte dias por mês, conforme aquela adotada fazenda onde foi realizado o experimento.

Foram considerados, ainda, os encargos sociais como 13º salário, férias, INSS e FGTS sobre o salário, férias e 13º salário dos operadores de turno diurno, de acordo com os dados fornecidos pela administração da Fazenda Vista Alegre.

3.9. Análise estatística

Os resultados obtidos foram analisados, estatisticamente, com 5% de probabilidade, procedendo-se à análise de variância e aplicando o teste de Tukey para comparação de médias entre tratamentos.

Foram comparados os aumentos nos valores de CUD e CUC da última avaliação em relação à primeira, ou seja, subtraiu-se o valor obtido na última avaliação pelo valor da primeira. Esses valores foram comparados pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade.

Foram comparados, individualmente para cada tratamento, os valores de CUD e CUC para cada avaliação, a fim de verificar se houve diferença estatística entre as quatro avaliações realizadas. Para esta análise, usou-se o teste de Tukey com 5% de probabilidade. As reduções nos valores de CV foram comparadas da mesma maneira que os valores de CUD e CUC.

O aumento na vazão média dos gotejadores foi analisado pelo teste “t”, para o caso de dados pareados, com 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas quatro avaliações para cada tratamento e, com os resultados obtidos, foram calculados o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Variação (CV), que são apresentados a seguir.

4.1. Coeficiente de uniformidade de distribuição

Para avaliar os efeitos dos tratamentos na limpeza dos sistemas de irrigação, os valores de CUD foram classificados segundo a norma ASAE (1996). No Quadro 4.1 e Figura 4.1, são apresentados os valores de CUD médio, antes e depois de cada aplicação dos tratamentos.

Quadro 4.1 – Valores de CUD médio para os tratamentos nas quatro avaliações

Tratamento	Avaliação			
	1	2	3	4
T1	25,06	44,40	51,14	67,35
T2	53,22	70,07	71,63	71,77
T3	62,25	64,77	77,57	80,80
T4	58,92	71,54	68,81	68,55
T5	53,96	68,63	77,81	80,60
T6	52,72	68,73	---	---
T7	68,05	66,54	71,08	67,40
T8	65,97	74,98	77,73	76,47
T9	51,45	48,39	54,88	50,70
T10	56,02	55,01	53,79	57,21

Para o tratamento T1, observa-se que a uniformidade inicial (antes das aplicações) estava na faixa inaceitável, passando para ruim na terceira avaliação e razoável na quarta. Seria desejável que a uniformidade estivesse na faixa excelente ou, pelo menos, bom. Mas, mesmo assim, houve um aumento no valor de CUD, melhorando as condições de distribuição da água na lavoura, o que pode ser considerado como um efeito positivo deste tratamento.

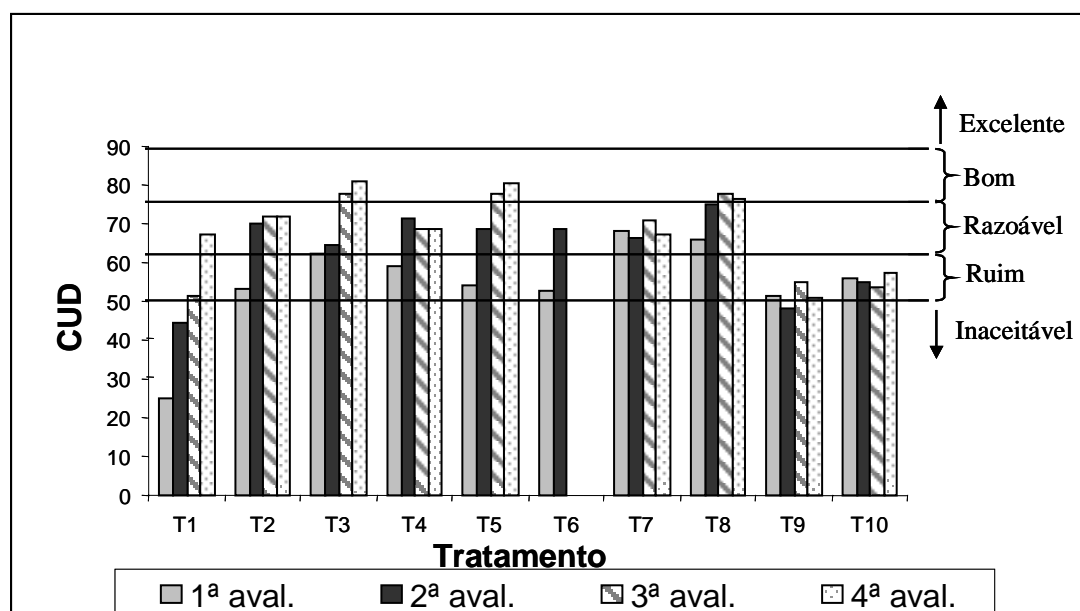


Figura 4.1 – Valores de CUD médio para os tratamentos e faixas de classificação quanto à norma ASAE EP 458 (1996).

Os tratamentos T2, T4 e T6 passaram da faixa ruim para a razoável, mostrando também um efeito benéfico destes tratamentos. O tratamento T5 passou de ruim para bom, o que demonstra um resultado desejável. Os tratamentos T3 e T8 passaram da faixa razoável para bom. O tratamento T7 permaneceu na mesma faixa (razoável), enquanto os tratamentos T9 e T10 não apresentaram alterações em seus valores de CUD, que permaneceram na faixa ruim.

Para comparar os efeitos dos tratamentos no aumento da uniformidade de distribuição, foram calculados os aumentos desses valores após a aplicação dos tratamentos, em relação aos valores iniciais, antes das aplicações. O Quadro 4.2 apresenta os aumentos nos valores de CUD.

Os resultados foram analisados, estatisticamente, pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade, observando-se que o tratamento T1 diferencia-se apenas dos tratamentos T7 e T9. Para os demais tratamentos, não houve diferença estatística.

Quadro 4.2 – Aumento dos valores de CUD após aplicação dos tratamentos, em relação aos valores iniciais e análise estatística pelo teste de Tukey

Tratamento	Aumento do CUD	Teste de Tukey*
T1	42,29	a
T2	18,55	a b
T3	18,55	a b
T4	9,63	a b
T5	26,64	a b
T6	16,01	a b
T7	-0,65	b
T8	10,50	a b
T9	-0,75	b
T10	1,19	a b

*As médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey em um nível de 5% de probabilidade.

As comparações individualizadas dos valores de CUD entre as avaliações para cada tratamento são mostradas no Quadro 4.3. Os tratamentos com ácido fosfórico a pH 2 (T1) e Reciclean com 25 mg L⁻¹ (T8) foram os únicos

que apresentaram diferenças entre as médias. Para o tratamento T1, a terceira avaliação diferencia-se da primeira, enquanto a segunda diferencia-se da quarta, o que evidencia a resposta significativa de aplicações sucessivas e a necessidade de que seja feita mais de uma aplicação do produto. Para o tratamento T8, houve diferença apenas entre a primeira e terceira avaliações. Para os outros tratamentos, não houve diferença estatística entre as avaliações dentro dos tratamentos.

Quadro 4.3 – Teste de Tukey para comparação dos valores de CUD entre as quatro avaliações dentro de cada tratamento

Tratamento T1			Tratamento T2		
Avaliação	CUD	Teste de Tukey*	Avaliação	CUD	Teste de Tukey*
1	25,06	c	1	53,22	a
2	44,40	b c	2	70,07	a
3	51,14	a b	3	71,63	a
4	67,35	a	4	71,77	a
Tratamento T3			Tratamento T4		
Avaliação	CUD	Teste de Tukey*	Avaliação	CUD	Teste de Tukey*
1	62,25	a	1	58,92	a
2	64,77	a	2	71,54	a
3	77,57	a	3	68,81	a
4	80,80	a	4	68,55	a
Tratamento T5			Tratamento T6		
Avaliação	CUD	Teste de Tukey*	Avaliação	CUD	Teste de Tukey*
1	53,96	a	1	52,72	a
2	68,63	a	2	68,73	a
3	77,81	a	3	---	
4	80,60	a	4	---	
Tratamento T7			Tratamento T8		
Avaliação	CUD	Teste de Tukey*	Avaliação	CUD	Teste de Tukey*
1	68,05	a	1	65,97	b
2	66,54	a	2	74,98	a b
3	71,08	a	3	77,73	a
4	67,40	a	4	76,47	a
Tratamento T9			Tratamento T10		
Avaliação	CUD	Teste de Tukey*	Avaliação	CUD	Teste de Tukey*
1	51,45	a	1	56,02	a
2	48,39	a	2	55,01	a
3	54,88	a	3	53,79	a
4	50,70	a	4	57,21	a

*As médias seguidas por uma mesma letra, dentro de cada tratamento, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.

4.2. Coeficiente de uniformidade de Christiansen

Com os resultados obtidos nas avaliações, foi calculado o CUC dos tratamentos. No Quadro 4.4, são apresentados os valores de CUC para as quatro avaliações de cada tratamento.

Quadro 4.4 – Valores de CUC para as quatro avaliações de cada tratamento

Tratamento	Avaliação			
	1	2	3	4
T1	55,57	68,12	74,13	82,67
T2	76,20	84,50	85,38	85,14
T3	80,21	81,18	87,77	89,52
T4	79,34	85,47	83,68	83,79
T5	76,88	84,14	88,04	89,79
T6	76,10	84,16	---	---
T7	83,65	82,24	85,14	83,35
T8	82,82	87,26	88,85	88,18
T9	74,83	73,29	77,11	74,51
T10	77,52	76,50	76,53	78,28

Observa-se uma heterogeneidade considerável nos valores iniciais de CUC, de maneira similar ao que ocorreu com os valores de CUD. A figura 4.2 apresenta os valores de CUC médio, para os tratamentos em cada avaliação, e sua classificação, segundo MANTOVANI (2002).

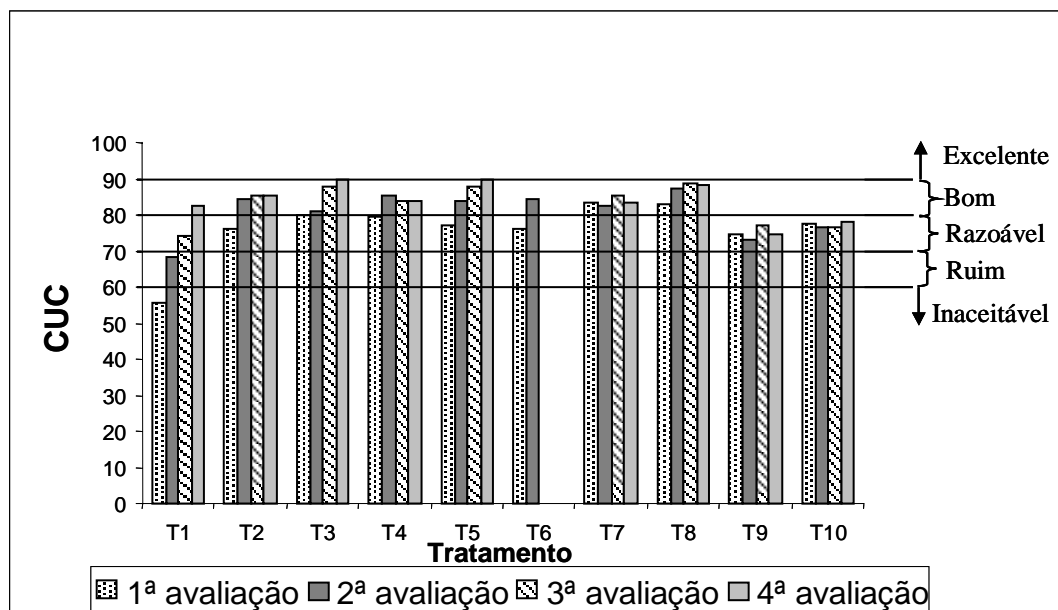


Figura 4.2 – Valores de CUC médio para os tratamentos e faixas de classificação, segundo MANTOVANI (2002).

No tratamento com ácido fosfórico a pH 2 (T1), a uniformidade classifica-se como inaceitável na primeira avaliação, sendo classificada como bom na quarta avaliação. O tratamento com ácido fosfórico a pH 3 (T2) passou de razoável, na primeira avaliação, para bom na quarta.

Para os tratamentos com hipoclorito de sódio, os valores de CUC mantêm-se na faixa bom, em todas as avaliações, com exceção da concentração de 25 mg L⁻¹ (T5), que na primeira avaliação encontrava-se na faixa razoável, passando para bom nas outras avaliações.

No tratamento com impacto mecânico (T6), houve um ganho de uniformidade, passando da faixa razoável, na primeira avaliação, para bom na última.

Os valores de CUC para os tratamentos com Reciclean (T7 e T8) não sofreram grande alteração, mantendo-se na faixa bom em todas as avaliações. Entretanto, no tratamento com 25 mg L⁻¹ (T8), houve um pequeno acréscimo na uniformidade.

Para os tratamentos com Magnum P44, praticamente não houve alteração dos valores de CUC, mantendo-se na faixa razoável tanto no tratamento com pH 2,3 (T9) quanto com pH 3,0 (T10).

O Quadro 4.5 apresenta os aumentos nos valores de CUC da primeira para a última avaliação, analisados pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade.

Quadro 4.5 – Aumento nos valores de CUC após aplicação dos tratamentos, em relação aos valores iniciais e análise estatística pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade

Tratamento	Aumento do CUC	Teste de Tukey*
T1	27,10	a
T2	8,94	a b
T3	9,31	a b
T4	4,45	b
T5	12,91	a b
T6	8,06	a b
T7	-0,30	b
T8	5,36	b
T9	-0,32	b
T10	0,76	b

*As médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey em um nível de 5% de probabilidade.

Como se pode observar, houve diferença estatística apenas entre o tratamento com ácido fosfórico a pH 2,0 e os tratamentos com Magnum P44, Reciclean e 50 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio, pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade. Para os demais tratamentos, não houve diferença estatística.

O Quadro 4.6 apresenta a análise estatística para comparação entre as avaliações dentro do tratamento T1, pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade.

Quadro 4.6 – Análise estatística entre as avaliações dentro do tratamento T1, pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade

Tratamento T1		
Avaliação	CUC médio	Teste de Tukey*
1	55,57	b
2	68,12	a b
3	74,13	a
4	82,67	a

*As médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey em um nível de 5% de probabilidade.

Como se observa, houve diferença estatística entre a primeira e a terceira aplicações, dentro do tratamento T1, mas, na Figura 4.2, nota-se que a uniformidade estava na faixa inaceitável na primeira avaliação, passando para ruim, razoável e bom, para as avaliações 2, 3 e 4, respectivamente. Para comparação dos valores de CUC entre as avaliações dos demais tratamentos, não houve significância da análise de variância, pelo teste F, com 5% de probabilidade.

4.3. Coeficiente de variação

De maneira idêntica ao que ocorreu com os valores de CUD e CUC, houve também grande heterogeneidade dos valores iniciais de CV. A Figura 4.3 apresenta os valores de CV médio, para os tratamentos e as faixas de classificação segundo a norma ASAE EP 458 (1996). Inicialmente, o tratamento T1 possuía valor de CV inaceitável, sendo que atingiu a faixa razoável na quarta avaliação. Os tratamentos T2, T4 e T6 passaram da faixa ruim para a razoável, na última avaliação. O tratamento T3 passou da faixa razoável para bom. O tratamento T5 melhorou bastante o valor de CV, que passou da faixa ruim para bom. Os tratamentos T7 e T8 permaneceram na faixa razoável e os tratamentos T9 e T10 na faixa ruim, não mostrando resultados positivos.

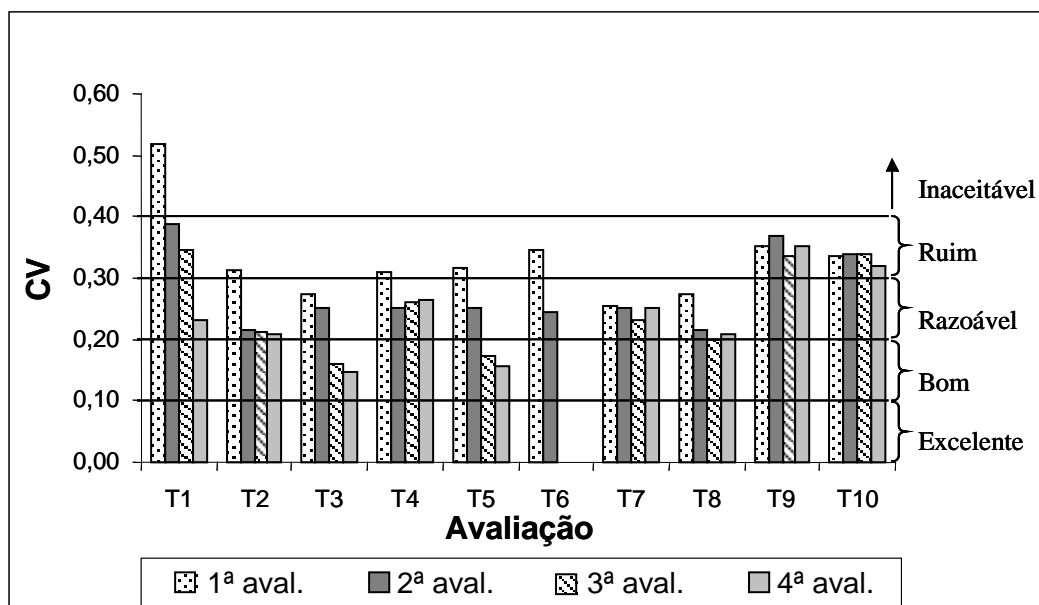


Figura 4.3 – Valores de CV médio para os tratamentos e faixas de classificação quanto à norma ASAE EP 458 (1996).

No quadro 4.7 são mostrados os valores de decréscimo no CV, na última avaliação, em relação à primeira.

Os resultados foram analisados, estatisticamente, pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade, observando-se que o tratamento T1 diferencia-se dos tratamentos T4, T7, T8, T9 e T10. Para os demais tratamentos não houve diferença estatística.

Quadro 4.7 – Decréscimo nos valores de CV após a aplicação dos tratamentos em relação aos valores iniciais

Tratamento	Decréscimo no CV	Teste de Tukey*
T1	0,29	a
T2	0,10	ab
T3	0,13	ab
T4	0,05	b
T5	0,16	ab
T6	0,10	ab
T7	0,00	b
T8	0,07	b
T9	0,00	b
T10	0,01	b

*As médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey em um nível de 5% de probabilidade.

As comparações feitas para os valores de CV, entre as avaliações dentro de cada tratamento, mostraram diferenças significativas somente para os tratamentos T1 e T8, que são apresentadas no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Análise estatística entre as avaliações dentro dos tratamentos T1 e T8, pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade

Tratamento T1		
Avaliação	CV médio	Teste de Tukey*
1	0,5198	a
2	0,3892	ab
3	0,3454	bc
4	0,2308	c
Tratamento T8		
Avaliação	CV médio	Teste de Tukey*
1	0,3176	a
2	0,2505	ab
3	0,1728	ab
4	0,1578	b

*As médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si, dentro de cada tratamento, estatisticamente pelo teste de Tukey em um nível de 5% de probabilidade.

Observa-se que, para o tratamento T1, houve diferença entre a primeira e terceira avaliações e entre a segunda e quarta avaliações. Para o tratamento T8, houve diferença apenas entre a primeira e quarta avaliação.

4.4. Distribuição do entupimento

O entupimento dos emissores pode ocorrer por completo (entupimento total) ou parcialmente, reduzindo sua vazão. Para melhor observar como ocorreu a distribuição do entupimento dos emissores, os resultados das medições de vazão foram divididos em 6 intervalos de vazões (Quadro 4.9), que são apresentados nas Figuras de 4.4 a 4.13.

Quadro 4.9 – Intervalos de vazões

Intervalo N°	Intervalo de Vazão (L h ⁻¹)
1	< 0,5
2	0,5 a 1,0
3	1,0 a 1,5
4	1,5 a 2,0
5	2,0 a 2,5
6	2,5 a 3,0

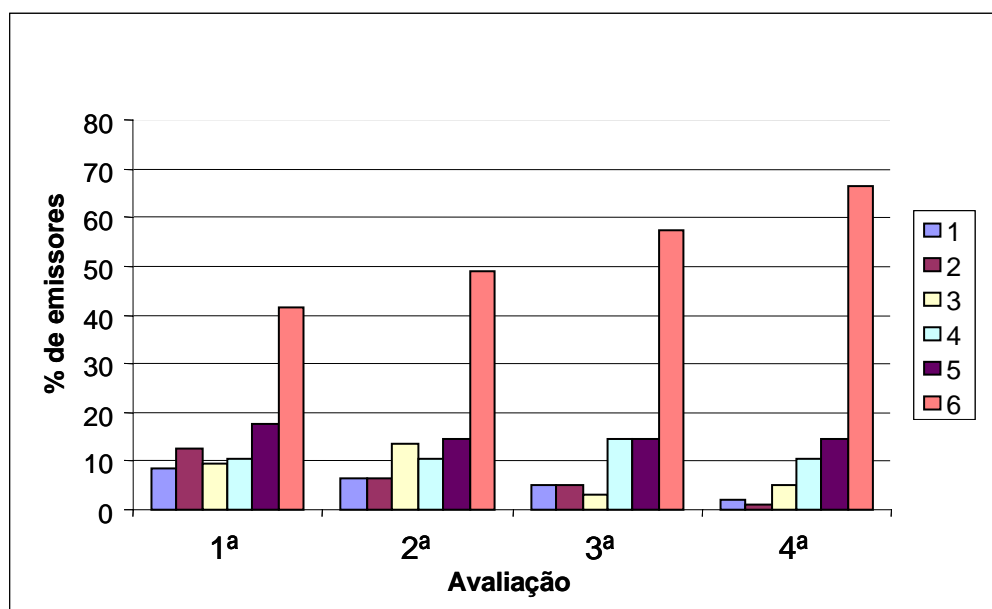


Figura 4.4 – Percentagem de emissores em intervalos de vazões, nas quatro avaliações, utilizando ácido fosfórico em pH 2 (T1).

Na Figura 4.4, observa-se que para T1, na primeira avaliação, havia cerca de oito por cento de gotejadores no intervalo de vazão N° 1. Na quarta avaliação, este número foi reduzido a um valor próximo a 2 %. Observa-se também que, nos outros intervalos de vazão, houve um efeito similar, visto pela migração desses valores para o intervalo N° 6, evidenciando o efeito positivo da aplicação do ácido fosfórico a pH 2 no desentupimento dos emissores.

No tratamento T2 (Figura 4.5) também houve um decréscimo no número de gotejadores entupidos, porém, não se observa um aumento da percentagem de gotejadores no intervalo de vazão 6 tão acentuado quanto no tratamento T1, evidenciando um efeito menos acentuado em relação a este.

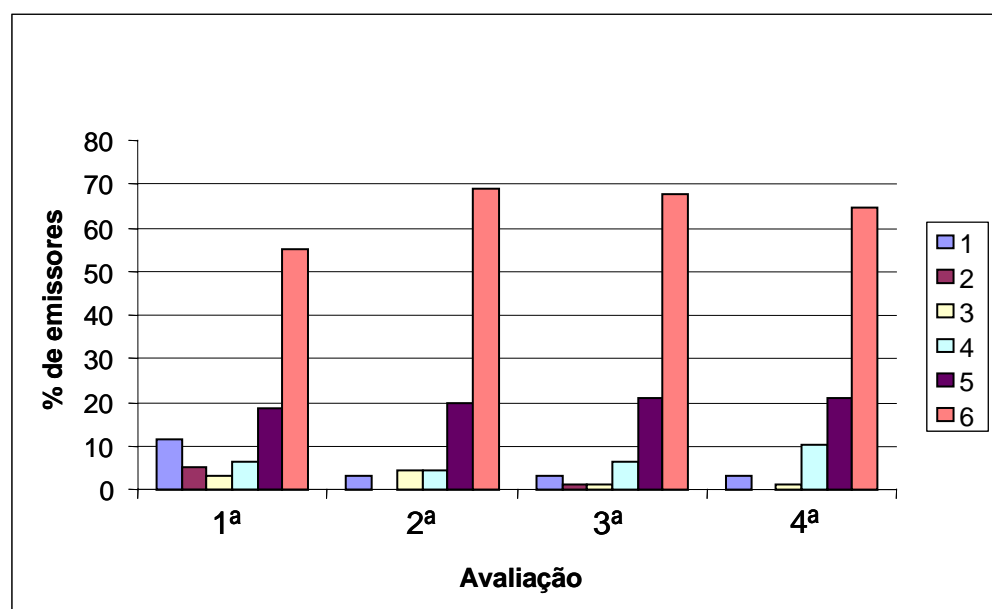


Figura 4.5 – Percentagem de emissores em intervalos de vazões nas quatro avaliações, utilizando ácido fosfórico em pH 3 (T2).

No tratamento T3 (Figura 4.6), não se observa alteração expressiva na percentagem de emissores no intervalo N° 6. Nos intervalos de N° 1 a N° 4, entretanto, esses valores reduziram-se substancialmente, aumentando a percentagem de emissores no intervalo N° 5 e reduzindo-a no intervalo N° 1, a zero por cento do total de gotejadores. Nota-se também que, no intervalo N° 6, houve um decréscimo nesses valores, nas avaliações 2 e 3, os quais voltaram a aumentar na quarta avaliação.

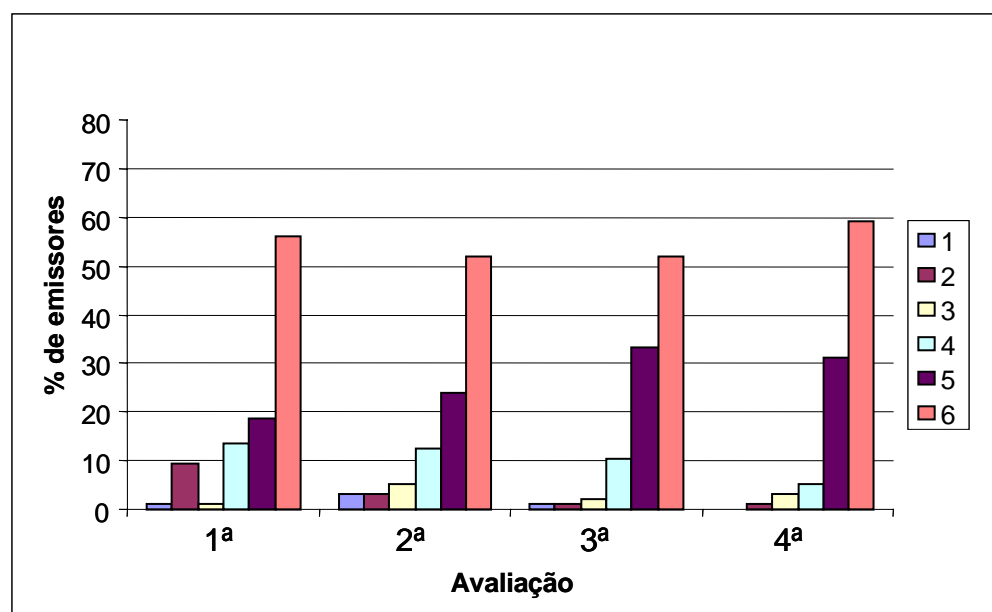


Figura 4.6 – Percentagem de emissores em intervalos de vazões nas quatro avaliações, utilizando 100 mg L^{-1} de hipoclorito de sódio (T3).

No tratamento T4 (Figura 4.7), houve um aumento na percentagem de gotejadores no intervalo N° 6n na segunda avaliação, reduzindo-se esse valor na terceira e quarta avaliações. Comparando a primeira e quarta avaliações para o intervalo N° 1, observa-se uma pequena redução nesses valores. Nos intervalos N° 2, N° 3 e N° 4, os valores tornaram-se praticamente inexpressivos na quarta avaliação.

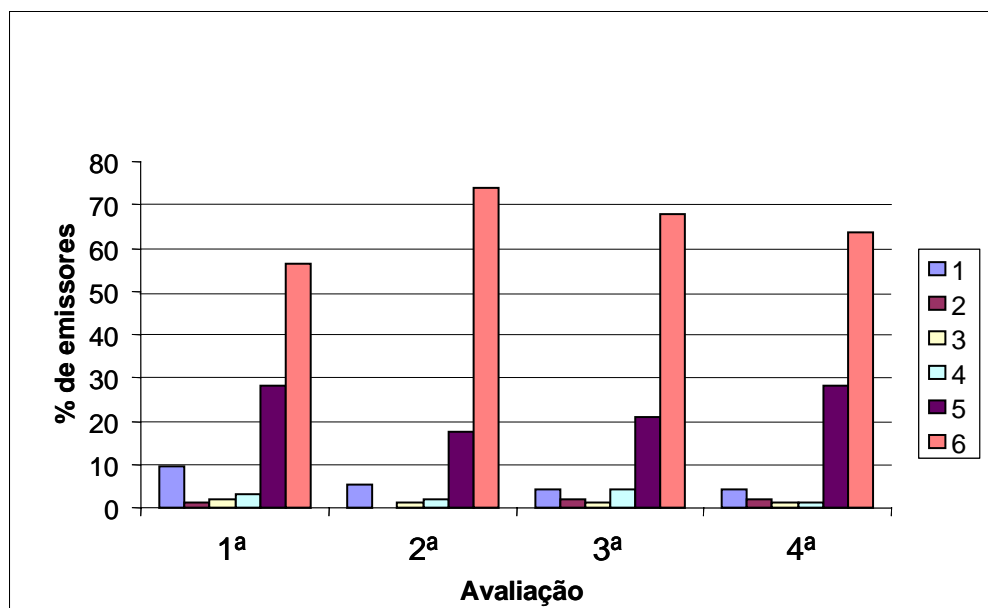


Figura 4.7 – Percentagem de emissores em intervalos de vazões nas quatro avaliações, utilizando 50 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio (T4).

No tratamento T5 (Figura 4.8), praticamente não houve alteração na percentagem de gotejadores no intervalo N° 6, havendo um pequeno aumento no intervalo N° 5, mas observa-se uma redução nos valores dos intervalos N° 1, N° 2 e N° 3, que praticamente inexisteram na quarta avaliação.

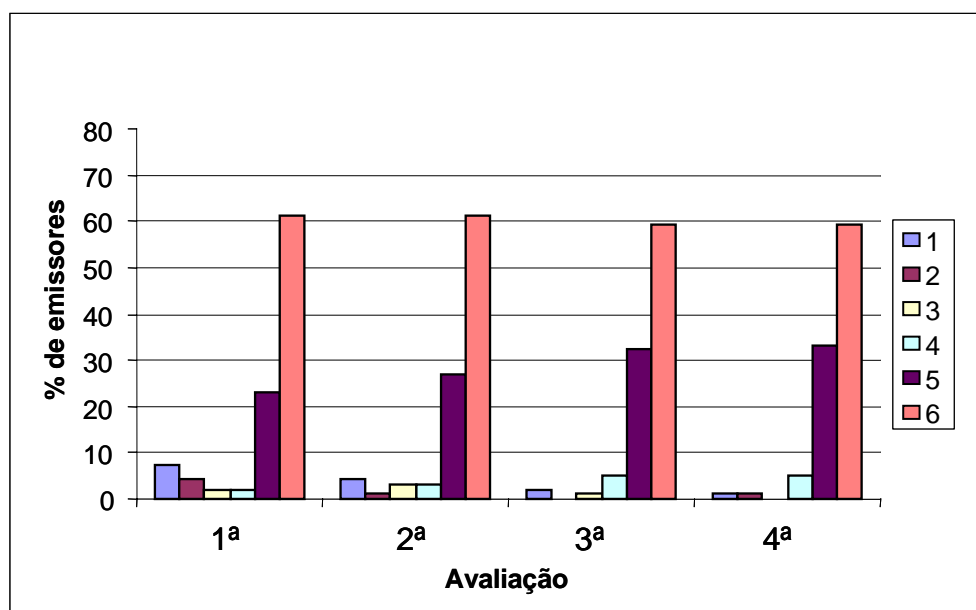


Figura 4.8 – Percentagem de emissores em intervalos de vazões nas quatro avaliações, utilizando 25 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio (T5).

No tratamento T6 (Figura 4.9) observa-se que os valores do primeiro e do segundo intervalo reduziram. No intervalo N° 4, não houve alteração e no intervalo N° 5 observou-se uma redução, indicando que, provavelmente, os emissores que estavam neste intervalo passaram para o intervalo N° 6, que aumentou da primeira para a segunda avaliação. Como neste tratamento não foi usado produto químico, ele poderia ser indicado para o caso de cultivos orgânicos, que não permitem o uso de tais produtos.

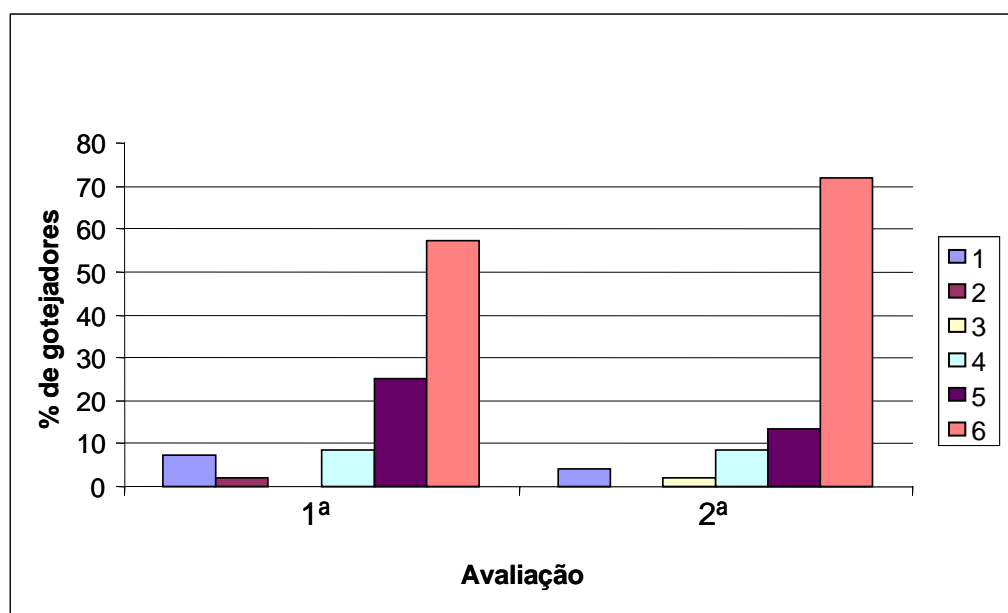


Figura 4.9 – Percentagem de emissores em intervalos de vazões nas duas avaliações, utilizando tratamento com impacto mecânico (T6).

Para o tratamento T7 (Figura 4.10), praticamente não houve alteração no intervalo N° 6. Os intervalos N° 2, N° 3 e N° 5 reduziram seus valores, aumentando a percentagem de gotejadores no intervalo N° 4. Este aumento na percentagem de gotejadores no intervalo N° 4 pode ser atribuído ao desprendimento de partículas das paredes das mangueiras, que deslocaram para dentro dos gotejadores, causando uma redução na vazão, visto que a concentração do produto aplicado foi maior que a recomendada pelo fabricante.

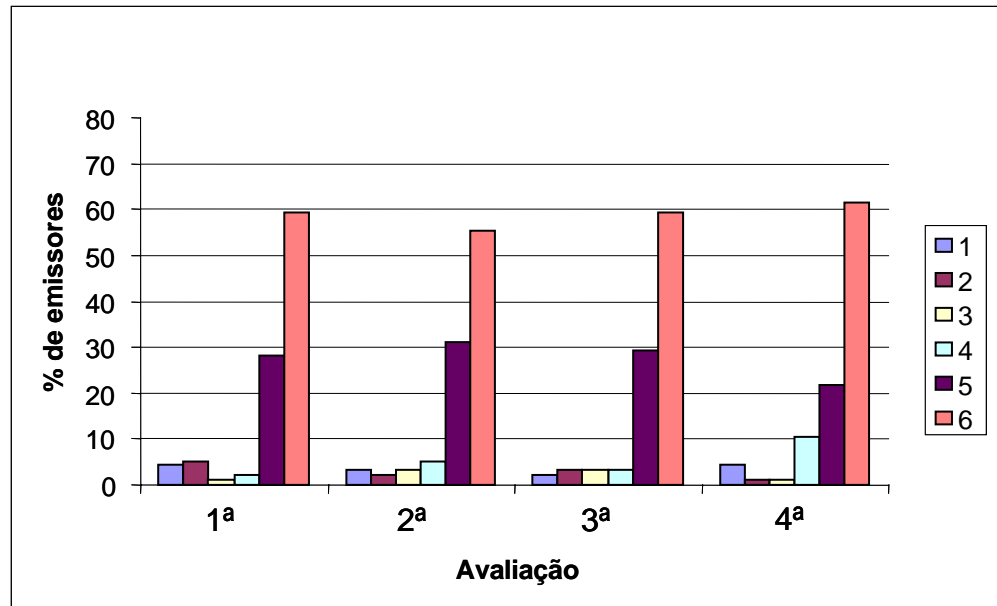


Figura 4.10 – Percentagem de emissores em intervalos de vazões nas quatro avaliações, utilizando 50 mg L⁻¹ de Reciclean (T7).

No tratamento T8 (Figura 4.11), houve um aumento na percentagem de gotejadores no intervalo N° 6, da primeira para a terceira avaliação, reduzindo-se na quarta avaliação. No intervalo N° 5, a percentagem de gotejadores da primeira para a segunda avaliação reduziu, aumentando na quarta avaliação. No intervalo N° 1, a percentagem de gotejadores reduziu um pouco e, nos demais intervalos, praticamente não alteraram.

Comparando os tratamentos T7 e T8, verifica-se que um melhor resultado foi obtido, quando se usou a concentração de 25 mg L⁻¹ (T8), recomendada pelo fabricante, visto que, neste tratamento, houve um número maior de gotejadores no intervalo de vazão N° 6 na quarta avaliação, considerando ainda que, para os dois tratamentos, a percentagem de gotejadores neste intervalo era a mesma da primeira avaliação.

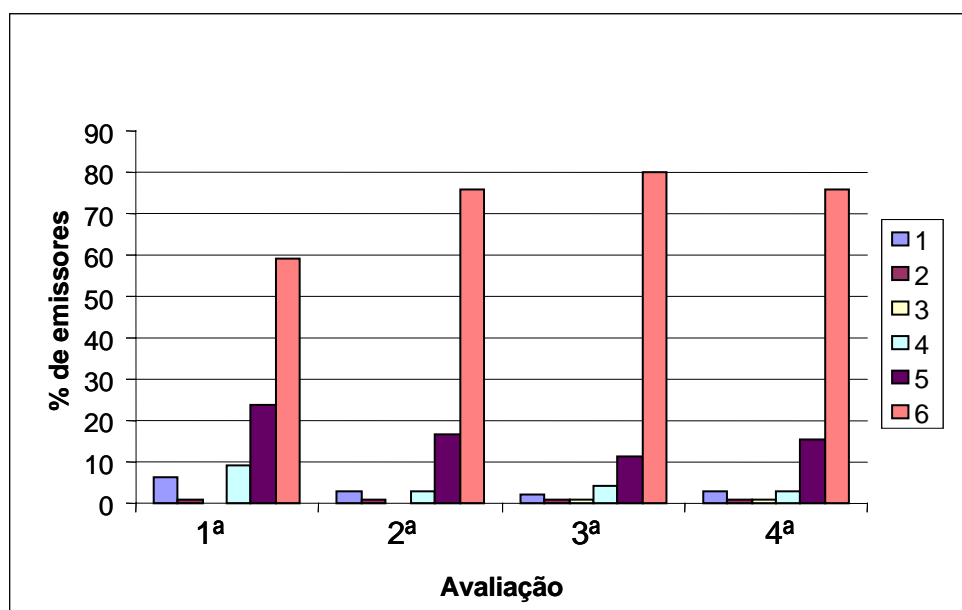


Figura 4.11 – Percentagem de emissores em intervalos de vazões nas quatro avaliações, utilizando 25 mg L⁻¹ de Reciclean (T8).

No tratamento T9 (Figura 4.12), não se observaram alterações expressivas, pois, as percentagens de gotejadores nos intervalos N° 1, N° 2, N° 5 e N° 6 mantiveram-se quase constantes. Somente nos intervalos N° 3 e N°4 observou-se pequena alteração dos valores, que provavelmente passaram do intervalo N°3 para o N°4, da primeira para a quarta avaliação.

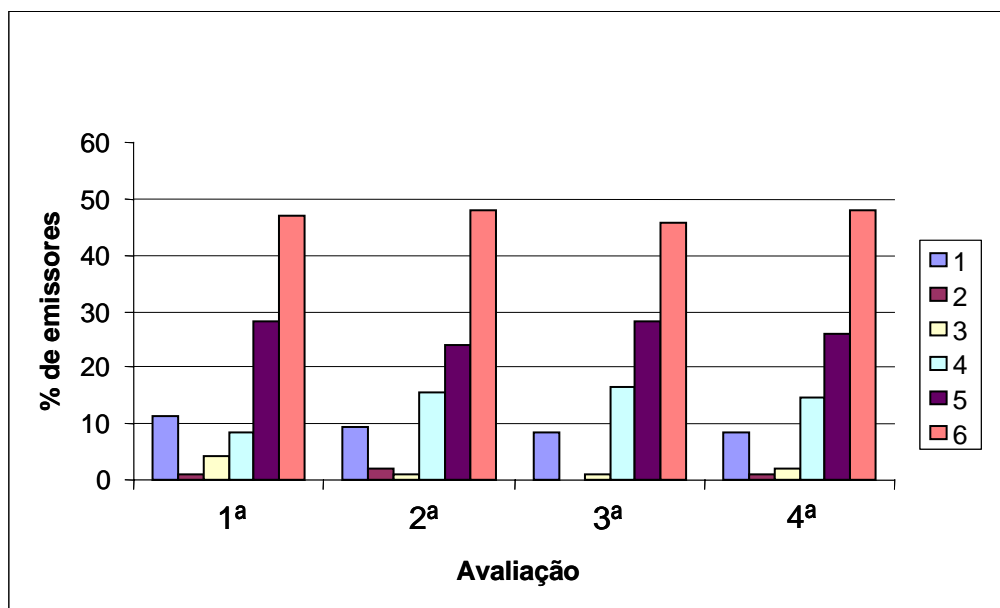


Figura 4.12 – Percentagem de emissores em intervalos de vazões nas quatro avaliações, utilizando Magnum P44 em pH 2,3 (T9).

No tratamento T10 (Figura 4.13), praticamente não foram observadas alterações nos intervalos N° 1 a N° 4. Uma maior alteração foi observada nos intervalos N° 5 e N° 6. Este resultado pode sugerir que esse tratamento seja eficaz em longo prazo, como uma medida preventiva de manutenção do sistema e não como uma medida curativa. Como o produto é um fertilizante solúvel, que deve ser utilizado regularmente na fertirrigação, poderia ser uma boa alternativa utilizá-lo antes que ocorresse o entupimento dos emissores.

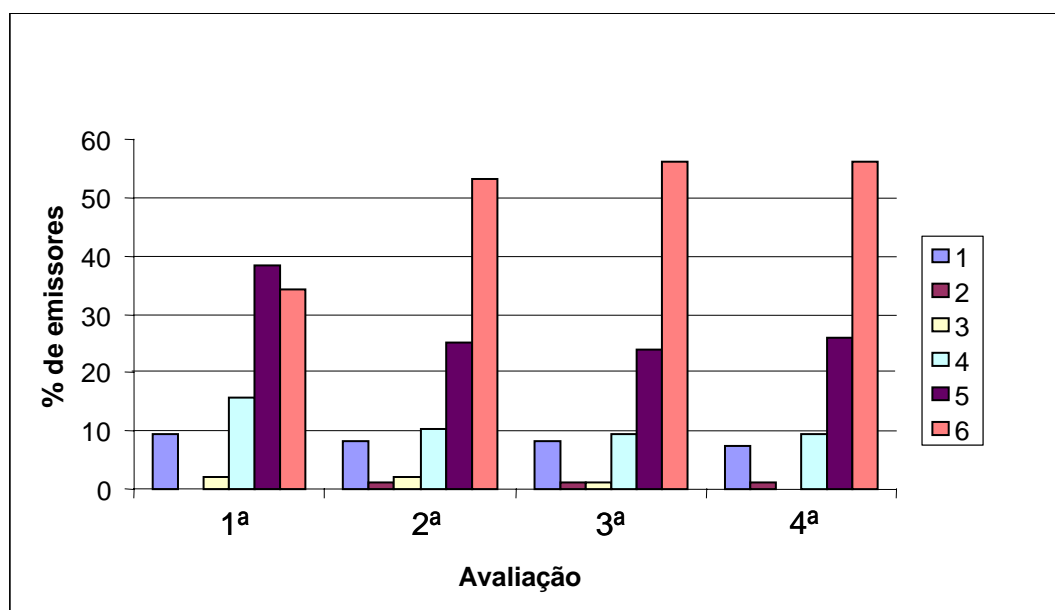


Figura 4.13 – Percentagem de emissores entupidos em intervalos de vazões nas quatro avaliações, utilizando Magnum P44 em pH 3,0 (T10).

4.5. Gotejadores completamente entupidos

Os gotejadores completamente entupidos (com vazão igual a zero) foram contados, antes e após a aplicação dos tratamentos. O Quadro 4.10 apresenta o número de gotejadores completamente obstruídos, para cada repetição dos tratamentos, e a percentagem de emissores que voltaram a gotejar.

Para os tratamentos T1 e T3, todos os emissores que estavam completamente obstruídos voltaram a gotejar. Entretanto, vale ressaltar que no tratamento T3 havia somente um gotejador completamente entupido e no tratamento T1, havia sete. No tratamento T2, 67% dos gotejadores da terceira repetição voltaram a gotejar, mas para as outras repetições, nenhum deles voltou a gotejar. No tratamento T4, 50% dos gotejadores voltaram a gotejar na segunda repetição, e nas demais, nenhum deles. No tratamento T6, nenhum gotejador voltou a gotejar na primeira repetição, mas, na segunda repetição, 80% voltaram a gotejar e na terceira 100%. No tratamento T7, 50% dos gotejadores foram recuperados na terceira repetição, mas, nas demais repetições, nenhum deles foi recuperado. No tratamento T9, um dos gotejadores da segunda repetição que

estava gotejando, parou de gotejar, enquanto na terceira repetição, um gotejador foi recuperado. No tratamento T10, nenhum dos gotejadores foi recuperado.

Quadro 4.10 – Número de gotejadores completamente obstruídos antes e após a aplicação dos produtos e a percentagem de emissores recuperados para cada repetição

Número de gotejadores completamente obstruídos				
Tratamento	Repetição	Antes	Depois	% desobstrução
T1	R1	3	0	100
	R2	2	0	100
	R3	2	0	100
T2	R1	0	0	0
	R2	1	1	0
	R3	3	1	67
T3	R1	1	0	100
	R2	0	0	0
	R3	0	0	0
T4	R1	1	1	0
	R2	2	1	50
	R3	2	2	0
T5	R1	0	0	0
	R2	3	1	67
	R3	1	0	100
T6	R1	2	2	0
	R2	5	1	80
	R3	1	0	100
T7	R1	1	1	0
	R2	0	0	0
	R3	2	1	50
T8	R1	1	1	0
	R2	1	0	100
	R3	1	1	0
T9	R1	1	1	0
	R2	3	4	-33
	R3	3	2	33
T10	R1	2	2	0
	R2	1	1	0
	R3	4	4	0

4.6. Vazão

No Quadro 4.11, são apresentados os valores de vazão média dos gotejadores para as quatro avaliações dos tratamentos.

Quadro 4.11 – Vazão média dos gotejadores para as quatro avaliações de cada tratamento, em L h⁻¹

		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Avaliação	1	1,86	2,32	2,33	2,35	2,30	2,28	2,35	2,42	2,23	2,23
	2	2,10	2,48	2,32	2,49	2,40	2,49	2,35	2,51	2,20	2,26
	3	2,24	2,47	2,42	2,42	2,46	---	2,42	2,56	2,23	2,28
	4	2,43	2,47	2,45	2,42	2,47	---	2,36	2,50	2,21	2,29

Nota-se que, apesar da vazão nominal ser de 2,3 L h⁻¹, na maioria dos tratamentos observam-se valores maiores que este, mesmo com o entupimento dos gotejadores. Isso se deve ao longo tempo de uso e à manutenção inadequada, o que resultou em danos na membrana de borracha responsável pela compensação de pressão do gotejador, conforme discutido anteriormente.

Observa-se também (Quadro 4.11) que, para os tratamentos de T1, T2 T3, T5 e T6, houve um aumento considerável na vazão média dos gotejadores. Para os tratamentos T4, T7, T8 e T10, houve um pequeno aumento na vazão e, para o tratamento T9, houve uma redução da vazão média dos gotejadores.

Foi analisado o efeito dos tratamentos no aumento da vazão dos emissores pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade. O Quadro 4.12 apresenta a análise estatística dos tratamentos.

Quadro 4.12 – Análise estatística do aumento na vazão dos emissores pelo teste “t” de Student para o caso de dados pareados, com 5% de probabilidade

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
s(d)	0,98	0,67	0,59	0,50	0,68	0,89	0,55	0,44	0,45	0,32
n	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
d	0,57	0,15	0,12	0,07	0,17	0,20	0,01	0,07	-0,02	0,07
Tcalc	5,71	2,26	2,02	1,33	2,49	2,23	0,15	1,57	-0,33	2,03
Ttab	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
	*	*	*	n.s	*	*	n.s	n.s	n.s	*

S(d) – Desvio padrão da diferença entre os pares da amostra; n – número de observações; d – Média da diferença entre os pares da amostra; Tcalc – Valor calculado pelo teste “t”; Ttab – Valor de “t” em nível de 5% de probabilidade; * - Significativo com 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student; n.s – Não significativo com 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student.

No Quadro 4.12, observa-se que os tratamentos T1, T2, T3, T5, T6 e T10 tiveram efeito no aumento da vazão dos emissores. Para os tratamentos T4, T7, T8 e T9 o resultado não foi significativo.

Os tratamentos com ácido fosfórico (T1 e T2) proporcionaram um aumento satisfatório na vazão dos gotejadores, devido ao poder de dissociação dos compostos insolúveis que estavam aderidos às paredes internas dos gotejadores, pelos íons hidrogênio altamente reativos que foram adicionados à água de irrigação.

Os tratamentos com 100 e 25 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio (T3 e T5) também permitiram um bom aumento na vazão dos gotejadores, visto que estas concentrações puderam agir de forma a oxidar os compostos, que estavam presentes no interior dos gotejadores e tubulações. No tratamento com 50 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio (T5), não houve diferença estatística do aumento na vazão dos gotejadores antes e depois das aplicações do produto. Possivelmente, houve um desprendimento das partículas das paredes das tubulações, indo sedimentar-se dentro dos gotejadores, reduzindo a vazão dos mesmos. No tratamento com 100 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio, não ocorreu o mesmo efeito, possivelmente porque nesta concentração o poder oxidante é maior que em 50 mg L⁻¹ e, na medida que as partículas iam parar no interior dos gotejadores, os átomos de cloro continuavam a agir, dissolvendo as partículas, o que concorda com a afirmação de FAIR et al. (1968).

Os tratamentos com Reciclean (T7 e T8) não apresentaram efeitos significantes de aumento da vazão. O efeito oxidante do peróxido de hidrogênio não se mostrou eficiente nas dosagens e no número de aplicações utilizadas neste experimento. Possivelmente, em longo prazo, haja um efeito melhor sobre a limpeza dos gotejadores.

O tratamento com Magnum P44 em pH 2,3 (T9) não apresentou efeito significativo sobre o aumento da vazão, havendo um decréscimo na vazão dos emissores, na última avaliação, em relação à primeira. Mas, no tratamento em pH 3,0 (T10), o resultado foi satisfatório, visto que aumentou a vazão dos

gotejadores. Portanto, é possível que este produto seja mais indicado para ser usado de maneira preventiva, e não curativa.

4.7. Análise de custo

O Quadro 4.13 apresenta um comparativo dos custos dos tratamentos, em relação ao aumento no CUD e ao decréscimo no CV. O tratamento T1, embora superior nos quesitos aumento no CUD e redução no CV, possui um custo muito elevado, inviabilizando seu uso em equipamentos instalados em lavouras de culturas de baixo a médio valor econômico. O tratamento T5, além de possuir a segunda maior posição nos quesitos citados anteriormente, possui o menor custo, mostrando-se o tratamento com a melhor relação benefício/custo, seguido pelos tratamentos T2, T3 e T6.

Quadro 4.13 – Comparativo dos custos dos tratamentos em relação ao aumento no CUD e ao decréscimo no CV

Tratamento	Custo (R\$ ha ⁻¹)	Aumento CUD	Decréscimo CV
T1	169,13	42,28	0,29
T2	28,19	18,55	0,10
T3	45,85	18,55	0,13
T4	30,68	9,63	0,05
T5	24,88	26,64	0,16
T6	30,22	16,01	0,10
T7	61,63	-0,64	0,00
T8	30,81	10,49	0,07
T9	584,35	-0,75	0,00
T10	26,97	1,19	0,01

Nos tratamentos de T3 a T5, observa-se que o custo maior é devido ao ácido fosfórico (Quadro 4.14). Este custo poderia ser reduzido, usando-se outro ácido, como o clorídrico ou o sulfúrico, que possuem um valor de mercado bem aquém do utilizado no experimento. O custo de um quilograma dos ácidos clorídrico e sulfúrico são R\$1,38 e R\$1,00, respectivamente, mas é preciso acrescentar que, para a compra destes dois produtos, é necessária uma

autorização da Polícia Federal, devido à utilização desses produtos para a fabricação de drogas, segundo resolução N° 147 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, de 27 de maio de 1999. Estes preços foram consultados, no dia 26 de agosto de 2002, junto ao fornecedor onde foram comprados os produtos utilizados no experimento, na cidade de Belo Horizonte-MG.

A análise de custos dos resultados é apresentada no Quadro 4.14. Para os tratamentos de T3 a T5, são mostrados os custos individualizados de hipoclorito e ácido. O tratamento T9 foi o que mostrou-se mais oneroso, seguido pelo tratamento T1. O tratamento T5 mostrou-se mais econômico que os demais, seguido pelo tratamento T2.

Como se observa, o tratamento T6 possui um custo bem abaixo daquele dos outros tratamentos, cujos resultados foram similares para a limpeza dos emissores, entretanto, há de evidenciar o fato de que não há aplicação de nenhum produto químico, o que seria necessário para a morte das ferrobactérias e algas. Isto implica que, em curto prazo, o efeito seja satisfatório, mas o resíduo que fica na mangueira pode servir de inóculo para um novo desenvolvimento de colônias.

Uma boa alternativa, seria associar este tratamento à utilização de um produto químico, como o cloro ou ácido, o que só seria possível caso não fosse utilizado em cultivos orgânicos, pois, neste tipo de agricultura, não é permitido o uso desses produtos.

Quadro 4.14 – Quantidades e custos dos produtos para as condições experimentais

		Concentração L m ⁻³	Valor (R\$)		1 aplicação R\$ ha ⁻¹	3 aplicações R\$ ha ⁻¹	
			L de Produto	Custo R\$ m ⁻³			
T1	ácido	1,20	9,72	11,66	77,80	169,13	
T2	ácido	0,20	9,72	1,94	12,97	28,19	
T3	hipoclorito	1,22	0,6	0,73	4,88	10,61	
	ácido	0,25	9,72	2,43	18,64	35,24	
T4	hipoclorito	0,61	0,60	0,37	2,44	5,31	
	ácido	0,18	9,72	1,75	13,42	25,37	
T5	hipoclorito	0,43	0,60	0,26	1,72	3,74	
	ácido	0,15	9,72	1,46	11,18	21,14	
T7	reciclean	0,25	17,00*	4,25	28,35	61,63	
T8	reciclean	0,13	17,00*	2,13	14,17	30,81	
T9	Magnum	13,00	3,10*	40,30	268,8	584,35	
T10	Magnum	0,60	3,10*	1,86	12,41	26,97	
			Hora homem ha ⁻¹	Horas de trabalho por dia	Custo por pessoa por mês (R\$)	Custo/ dia (R\$)	Custo/ha (R\$)
T6	Impacto mecânico		14	7	302,22	15,11	30,22

*Os valores destes produtos acompanham o dólar americano. A conversão para o Real foi feita no dia 26 de agosto de 2002. O valor do Reciclean é US\$ 5,50 por litro e do Magnum P44, US\$ 1,00 por kilograma.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficiência da utilização de ácido fosfórico, hipoclorito de sódio, dois produtos comerciais e impacto mecânico no desentupimento de gotejadores, consequente à utilização de águas contendo elevados teores de ferro.

O trabalho foi realizado na Fazenda Vista Alegre, localizada na estrada Lagoa Santa – Jaboticatubas, MG, próximo à cidade de Belo Horizonte. Foi feita a adaptação de um sistema de irrigação por gotejamento marca Plastro, emissores Katif, com cerca de oito anos de funcionamento. Foram testados dez tratamentos, sendo 9 químicos e um com a aplicação de pancadas (tratamento T6). Para os tratamentos químicos, foram utilizados: o ácido fosfórico, nos tratamentos T1 (pH 2) e T2 (pH 3); hipoclorito de sódio, nos tratamentos de T3 a T5, com as respectivas dosagens de 100, 50 e 25 mg L⁻¹ de cloro; Reciclean nos tratamentos T7 e T8, com as dosagens de 50 e 25 mg L⁻¹; e Magnum P44 nos tratamentos T9 (pH 2,3) e T10 (pH 3). Foram feitas três aplicações em cada tratamento, sendo a primeira com duração de 10 minutos e as outras duas com uma hora de duração. Após as aplicações, o sistema era deixado em repouso por, aproximadamente, 12 horas, fazendo-se a abertura do final de linha após este período e procedendo à avaliação do sistema. Nas avaliações, eram medidas as vazões de 32 gotejadores por repetição, sendo oito gotejadores em cada uma das quatro linhas laterais.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Com os valores de vazão coletados, foram calculados: o CUD; CUC; CV; a percentagem de gotejadores, em cada faixa de vazão; e o número de gotejadores completamente entupidos. Foi realizada a análise estatística dos tratamentos pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade.

Calculou-se o custo de cada tratamento, comparando-os entre si, a fim de selecionar o que fornecia a melhor relação benefício/custo.

Diante dos resultados, conclui-se que:

- ✓ O tratamento com ácido fosfórico em pH 2,0 foi o que forneceu o melhor resultado, quando avaliou-se a melhoria da uniformidade de irrigação do sistema, pois, apresentou o maior aumento nos valores de CUD e CUC e a maior redução nos valores de CV; entretanto possui um custo elevado.
- ✓ O tratamento com 25 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio foi o que apresentou a melhor relação benefício/custo, sendo o mais econômico e o segundo melhor na melhoria da uniformidade de irrigação do sistema.
- ✓ O tratamento com Magnum P44 em pH 2,3, além de não promover melhoria do sistema, apresentou o maior custo de aplicação; entretanto, vale ressaltar que este produto não foi desenvolvido para este fim.
- ✓ O tratamento com impacto mecânico constitui uma alternativa para recuperação de sistemas de irrigação por gotejamento em geral, com destaque para sistemas de cultivos orgânicos.
- ✓ O produto Reciclean não forneceu um resultado satisfatório, nas três aplicações realizadas, para a concentração de 50 mg L⁻¹; entretanto, para a concentração de 25 mg L⁻¹, pode ser necessário que se faça maior número de aplicações para que tenha uma conclusão sobre sua efetividade.

6. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

- a) Quando um sistema de irrigação por gotejamento está com problemas de entupimento decorrente do crescimento bacteriano associado à utilização de águas ferruginosas, pode-se recomendar a aplicação de hipoclorito de sódio, em dosagens que variam de 25 a 100 mg L⁻¹, dependendo da severidade do entupimento, do tempo de funcionamento e do tipo de sistema. Dosagens menores, podem não ser eficientes, enquanto as maiores podem danificar o equipamento de irrigação.
- b) As medidas preventivas do entupimento de gotejadores devem ser tomadas antes mesmo do projeto de irrigação, começando com uma análise da água de irrigação, o que ajudará a definir as medidas a serem tomadas, como a aeração e decantação, cloração, tipo de filtro a ser utilizado, dentre outras.
- c) O produto Magnum P44 pode ser usado como medida preventiva do entupimento, uma vez que é um fertilizante solúvel que abaixa o pH da solução.
- d) É necessário estudar o efeito de doses de produtos químicos na durabilidade das membranas de gotejadores auto-compensantes.
- e) Deve ser estudado o efeito do tratamento de sistemas de irrigação com problemas de entupimento, com outros ácidos, como o sulfúrico, o clorídrico (muriático) e o nítrico, a fim de encontrar outras soluções economicamente viáveis.

- f) Devem ser estudados os efeitos dos produtos químicos utilizados, nas culturas e no solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Resolução N° 147 de 27 de maio de 1999. Lista D2. **Lista de insumos químicos utilizados com precursores para fabricação e síntese de entorpecentes e/ou psicotrópicos.** [Internet] Disponível:
http://www.saude.pr.gov.br/ftp/Legislacao_Vigilancia_Sanitaria/Resolucao%20147_99.doc

ALLAM, M.; TROOIEN, T. P.; LAMM, F. R.; ROGERS, D. H. **Filtration and maintenance considerations for subsurface drip irrigation (SDI) systems.** Irrigation management series. Kansas State University. Manhattan, Kansas. 2002.

ASAE EP 458. **Field evaluation of microirrigation systems.** ASAE Standards. St. Joseph, p.792-797, 1996.

ASAE EP 405.1. **Design and Instalation of microirrigation systems.** ASAE Standards. St. Joseph, p.875-879, 2000.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture;** Fao Irrigation And Drainage Paper 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 1985.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. Alcalinidade e dureza das águas. In: AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Técnica de abastecimento e tratamento de água.** Vol. 2. Tratamento de água. São Paulo: CETESB / ASCETESB, p. 303-308. 1987.

- BAR, I. **Iron control system for drip irrigation.** In: Proceedings of 5th International Microirrigation Congress. Orlando, Florida. p 239-243. 1995.
- BERGSRUD, F.; SEELIG, B.; DERICKSON, R. **Treatment systems for household water supplies: chlorination.** North Dakota State University. NDSU Extension Service. 1992. [internet] Disponível:
<http://www.ext.nodak.edu/extpubs/h2oqual/watsys/ae1046w.htm>
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**, 6ª ed. Viçosa, Impr. Univ., 657p. : il. 1995.
- BOSWELL. M. J. **Water quality and treatment.** In: Toro-Ag agricultural irrigation. Aqua-Traxx-Design Manual. 2000.
- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F. S. **Injection of fertilizer and other chemicals for drip irrigation.** Proc. Agri-Turf Irrig. Conf., Houston, Texas, Irrigation Association, Silver Spring, Maryland.. p 166-180. 1980.
- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. **Trickle irrigation water quality and preventive maintenance.** Agricultural Water management. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. p 149-162. 1979.
- CLARK, G. A.; SMAJSTRLA, A. G. **Treating irrigation systems with chlorine.** Circular 1039. University of Florida, 6 p. 1999.
- CORDEIRO, E. A. **Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento.** Dissertação de mestrado. UFV – Viçosa-MG. 92 p. 2002.
- COSTA, C.C. **Entupimento de gotejadores provocado pela presença de ferro na água de irrigação.** Dissertação de mestrado. UFLA – Lavras-MG. 86 p. 2000.
- CHRISTOFIDIS, D. **Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no Mundo.** Revista ITEM, n 49, p. 8-13. 2001.
- CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos.** Revista ITEM, n 54, p. 46-55. 2002.

- DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J.T.L.; SEDIYAMA, G.C. **Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento.** Revista Ceres, Viçosa-MG, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.
- FAIR, G. M.; GEYER, J. C.; OKUN, D. A. **Water and wastewater engineering.** vol. 2. Water purification and wastewater treatment and disposal. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1968.
- GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational Principles/Emitter Clogging. In: NAKAYAMA, F.S. BUCKS, D.A.; **Trickle irrigation of crop production.** Elsevier Science Publishers B. V. 383 p. 1986.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation.** New York: Avibook, 649 p. 1990.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design.** Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 133 p. 1975.
- LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo.** 2 ed., rev. e ampl. Piracicaba: POTAFOS, 1998.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade:** anais/editado por Rena, A. B. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 447 p.: il. 1986.
- MANTOVANI, E. C. **AVALIA** – Manual do usuário. DEA/UFV – PNP&D/café/EMBRAPA. Viçosa. 100 p. 2002.
- MARTINKO, J.; JOHN, M.; PACK, J. **Biology of microorganisms.** A Viacom Company Upper Saddle River, New Jersey. 1997.
- MICHALAKOS, G. D.; NIEVA, J. M.; VAYENAS, D. V.; LIBERTAOS, G. **Removal of iron from potable water using a trickling filter.** Department of chemical engineering. University of Patras and Institute of Chemical Engineering and High Temperature Chemical Processes. Patras, Greece. 1996.
- NAKAYAMA, F. S. **Operational Principles – Water treatment.** In: NAKAYAMA, F.S. BUCKS, D.A.; **Trickle irrigation of crop production.** Elsevier Science Publishers B. V. 383 p. 1986.

- PITTS, D. J.; FERGUSON, J. A.; GILMOUR J. T. **Plugging characteristics of drip-irrigation emitters using backwash from a water-treatment plant.** Bulletin 880, Arkansas Agricultural Experiment Station, University of Arkansas, Fayetteville, 1985.
- PITTS, D.J. ; HAMAN, D.Z. ; SMAJSTRLA, A.G. **Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems.** Florida Cooperative Extension Service. University of Florida . Bulletin 258. 12 p. 1990.
- PIZARRO, F. **Riegos Localizados de Alta Frecuencia.** Madrid. 2ª edición.471 p. 1990.
- RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. **Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater.** Irrigation Science 13. Israel, p. 129-139. 1992.
- RESENDE, R. S. **Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação.** Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP – Piracicaba-SP, 1999.
- RODRIGO, J. L.; HERNANDEZ, J. M. A.; PEREZ, A. R.; GONZALEZ, J. F. H. **Riego localizado.** Madri. 405p. 1992.
- ROMAN, B. **Tackling emitter clogging problems.** Irrigation Journal, May-June, v.49, I.4, p.8. 1999.
- SEELIG, B.; DERICKSON, R.; BERGSRUD, F. **Treatment systems for household water supplies: Iron and Manganese Removal.** North Dakota State University. NDSU Extension Service. 1992. [Internet] Disponível: <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/h2oqual/watsys/ae1030w.htm>
- SMAJSTRLA, A. G.; BOMAN, B. J., **Flushing procedures for microirrigation systems.** Bulletin 333. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1999.
- SUÁREZ, D. L. **Obturaciones-Utilización de aguas depuradas en riego y mantenimiento de los mismos.** VI Curso Internacional de Riego Localizado. Riverside, California USA. 24p. 1993.
- VERMAIREN, L.; JOBLING, G. A. Tradução de GHEYI, H. R., DAMASCENO, F. A. V., SILVA Jr., L. G. A., MEDEIROS, J. F. **Irrigação localizada.** Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36). Campina Grande, UFPB, 1997.

WU, I. P.; GITLIN, H. M. **Drip irrigation design based on uniformity.**
Transactions of the ASAE, Michigan, 17 (3): 429-432. 1974.