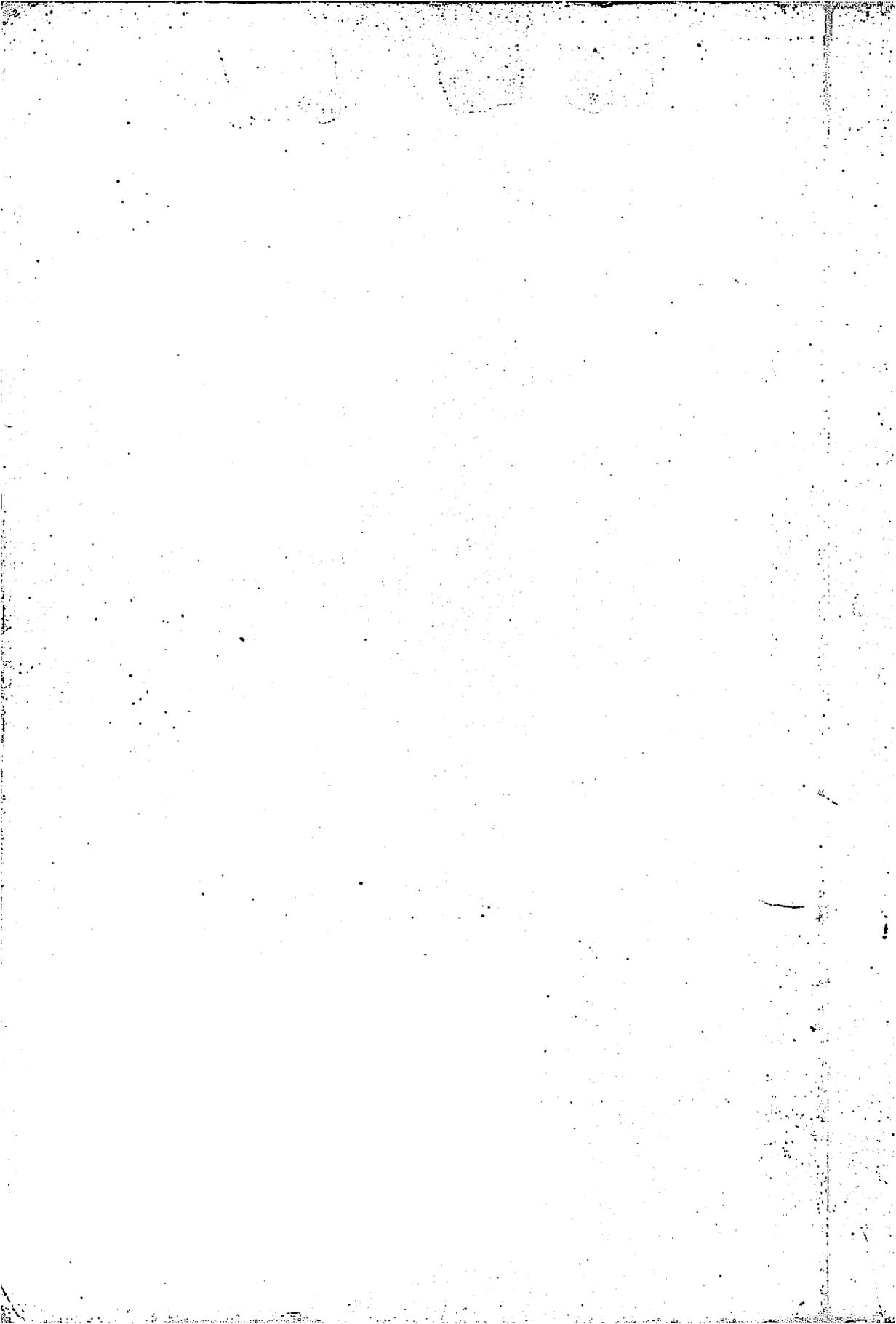


**ESTUDO DA SUSCEPTIBILIDADE DE TUBOS  
GOTEJADORES AO ENTUPIMENTO POR  
PRECIPITADOS QUÍMICOS DE FERRO**

**CLAUDIONOR CAMILO DA COSTA**

**2000**



**CLAUDIONOR CAMILO DA COSTA**

**ESTUDO DA SUSCEPTIBILIDADE DE TUBOS GOTEJADORES AO  
ENTUPIMENTO POR PRECIPITADOS QUÍMICOS DE FERRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador:

Prof. Cláudio Milton Montenegro Campos

LAVRAS  
MINAS GERAIS-BRASIL  
2000

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Costa, Claudionor Camilo da

Estudo da susceptibilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de ferro / Claudionor Camilo da Costa. -- Lavras : UFLA, 2000.

85 p. : il.

Orientador: Cláudio Milton Montenegro Campos.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Irrigação por gotejamento. 2. Entupimento. 3. Tubo gotejador. 4. Ferro. 5. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631587

**CLAUDIONOR CAMILO DA COSTA**

**ESTUDO DA SUSCEPTIBILIDADE DE TUBOS GOTEJADORES AO  
ENTUPIMENTO POR PRECIPITADOS QUÍMICOS DE FERRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal  
de Lavras, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola, área de concentração em Irrigação e  
Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

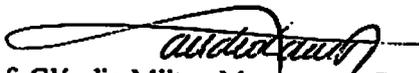
APROVADA em 7 de agosto de 2000

Prof. Manoel Alves de Faria

UFLA

Prof. Luiz Antônio Lima

UFLA

  
Prof. Cláudio Milton Montenegro Campos  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS-BRASIL

Ao SENHOR DEUS

À minha querida mãe, Maria Aparecida da Costa

Ao meu exemplar pai, Claudionor da Costa

À minha querida esposa, Leiliane

Às minhas irmãs, Josiane, Josimara, Claudimara e Juliana

Ao meu sobrinho, Tiago

À minha querida afilhada, Estefânia

OFEREÇO

*"Buscai, pois, em primeiro lugar, o seu reino e a sua justiça, e todas estas cousas vos serão acrescentadas." Mt 6.33*

*"Porque dele, e por meio dele, e para ele são todas as cousas. A ele, pois, a glória eternamente. Amém." Rm 11.36*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência.

A minha mãe e ao meu pai, pelo constante apoio ao longo de minha vida.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade para a realização do curso e pelos ensinamentos.

Ao professor Cláudio Gouvêa Botelho, pelo grande apoio na realização do curso, pela cessão do Laboratório para a realização de análises e pela sincera amizade, sempre demonstrada durante todos os momentos.

Ao meu orientador, professor Cláudio Milton Montenegro Campos, pelo importante apoio e pela amizade.

Ao meu co-orientador, professor Manoel Alves de Faria, pelas preciosas contribuições e sugestões na realização deste trabalho.

Ao engenheiro José Antônio Alves Dias, pela cessão de vários materiais, o que facilitou a realização deste trabalho.

Ao prof. Luiz Antônio Lima, pela idealização do tema da pesquisa.

Ao professor José Eduardo Brasil P. Pinto (DAG/UFLA), pela cessão da casa-de-vegetação onde foi instalado o experimento.

Ao meu irmão na fé, Luiz Gonzaga do Carmo (DAG/UFLA), pelas indispensáveis contribuições ao longo do curso (materiais e espirituais).

Ao professor Alcione de Oliveira (Prefeito do Campus da UFLA), pela concordância em minha liberação parcial para a realização do curso.

Aos funcionários da Hidráulica (DEG/UFLA), Oswaldo (Neném), Sr. Lindemberg (Berg) e José Luiz, pela amizade e presteza sempre demonstradas.

Aos meus colegas de curso, em especial ao Adão Wagner, pela amizade.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

**Claudionor Camilo da Costa, nascido em 31 de agosto de 1969, em Ribeirão Vermelho- Minas Gerais, é filho de Claudionor da Costa e Maria Aparecida da Costa.**

**Cursou o primário em Garças de Minas ( Município de Iguatama-MG). A 5ª e 6ª séries do primeiro grau estudou em Iguatama- MG (1980 e 1981) e a 7ª e 8ª séries em Ribeirão Vermelho- MG (1982 e 1983). O segundo grau foi realizado no Instituto Gammon (Lavras- MG de 1984 a 1986).**

**Foi aprovado para o curso de Agronomia na então ESAL (segundo concurso vestibular de 1986 ), concluindo seus estudos de graduação em abril de 1992, sendo diplomado engenheiro agrônomo.**

**Foi aprovado em concurso para a COPASA-MG (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), onde trabalhou de dezembro de 1992 a dezembro de 1994 (Cidade de Santo Antônio do Amparo- MG) quando, por meio de concurso público, entrou para o quadro de técnicos-administrativos da UFLA (Universidade Federal de Lavras- MG).**

**Em agosto de 1997 iniciou o curso de pós-graduação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem) na UFLA.**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 A Importância da Qualidade da Água .....	4
2.2 Ferro nas Águas e nos Solos.....	5
2.3 Entupimento dos Emissores.....	7
2.4 Desobstrução Aleatória de Emissores.....	10
2.5 Prevenção e Controle do Entupimento de Emissores por Precipitados Químicos.....	11
2.6 Recuperação de Emissores Obstruídos.....	17
2.7 A Uniformidade de Irrigação.....	18
2.7.1 O Coeficiente de Variação de Fabricação (C.V.F.).....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Descrição das características de irrigação.....	26
3.2 Características dos Tubos Gotejadores estudados.....	27
3.3 Metodologia adotada no experimento.....	29
3.3.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	30
3.3.1.1 Procedimentos.....	30
3.3.2 Teste de significância de médias (Teste de t).....	31
3.3.3 Análise de Regressão.....	32
3.3.4 Análises de ferro total e preparo da água de irrigação.....	33

3.3.4.1 Princípio do Método.....	33
3.3.5 População Bacteriana.....	36
3.3.5.1 Procedimentos da Análise de Contagem Total de Unidades Formadoras de Colônias (U.F.C.) .....	36
3.3.6 Método de Aplicação de Ácido como Agente Desincrustante à Sobrepressão.....	36
3.3.6.1 Procedimentos.....	37
3.3.7 Metodologia de Avaliação da Irrigação.....	38
3.3.7.1 Vazão Média.....	38
3.3.7.2 Volume Médio.....	38
3.3.7.3 Coeficiente de Variação de Vazão (C.V.Q.).....	39
3.3.7.4 Uniformidade de Distribuição/Emissão.....	39
3.3.7.5 Vazão Relativa (V.R.) .....	39
3.3.7.6 Temperatura do Ar e da Água.....	40
3.3.7.7 pH da Água Enriquecida com Sais de Ferro.....	40
3.3.7.8 Análises de Sólidos.....	40
3.3.7.8.1 Sólidos Totais (S.T.).....	41
3.3.7.8.1.1 Procedimentos.....	41
3.3.7.8.2 Sólidos em Suspensão (S.S.) .....	41
3.3.7.8.2.1 Procedimentos.....	42
3.3.7.8.3 Sólidos Dissolvidos (S.D.) .....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Vazão Média.....	43
4.1.1 Aplicação de ácido à sobrepressão afetando a Vazão Média.....	45
4.2 Coeficiente de Variação de Vazão (C.V.Q.).....	46

4.2.1 Aplicação de ácido à sobrepressão afetando o Coeficiente de Variação de Vazão (C.V.Q.).....	49
4.3 Uniformidade de Distribuição/ Emissão (U.D./U.E.).....	49
4.3.1 Aplicação de ácido à sobrepressão afetando a Uniformidade de Distribuição/Emissão (U.D./U.E.).....	53
4.4 Vazão Relativa (V.R.).....	54
4.4.1 Análise de Regressão.....	57
4.4.1.1 Naan.....	57
4.4.1.2 Netafim.....	57
4.4.1.3 Chapin.....	58
4.4.1.4 Queen Gil.....	58
4.4.1.5 Rain Bird.....	58
4.4.2 Aplicação de ácido à sobrepressão afetando a Vazão Relativa..	59
4.5 Concentração Original de Ferro.....	59
4.6 pH da água aplicada.....	60
4.7 Variação do teor de Sólidos.....	62
4.8 Aspectos Construtivos <i>versus</i> Entupimento.....	63
4.9 Visualização dos Compostos Oxidados (Precipitados).....	64
5 CONCLUSÕES.....	65
6 RECOMENDAÇÕES.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS.....	72

## RESUMO

COSTA, Claudionor Camilo da. Estudo da susceptibilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de ferro. Lavras:UFLA,2000. 85 p.(Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola).\*

Sob condições de casa-de-vegetação, em Lavras (Minas Gerais), foram realizados estudos com cinco modelos de tubos gotejadores submetidos à irrigação com água contendo 3,0 mg/L de ferro total. Objetivou-se, no presente trabalho, verificar a intensidade de ocorrência dos precipitados químicos e observar a possível viabilidade de uma aplicação de ácido à sobrepressão, quando os emissores já apresentassem uma uniformidade de irrigação bastante comprometida. O sistema de irrigação foi composto de um reservatório de 1000 litros, um conjunto motobomba de 0,5 cv., um filtro de disco de 120 mesh, uma bancada de testes de 5,40m x 1,20m, onde foram instaladas os tubos gotejadores. O sistema funcionava cinco dias por semana, com um tempo médio diário de irrigação de 2 horas e 35 minutos. Foram realizadas coletas semanais de água por um período de cinco minutos, coletas essas que foram feitas simultaneamente nos 125 emissores (25 emissores para cada modelo). Posteriormente, foram calculados: Vazão Média, Volume Médio, Coeficiente de Variação de Vazão(C.V.Q.), Uniformidade de Distribuição/Emissão (U.D./U.E.) e Vazão Relativa(V.R.). Foi testado também o método da sobrepressão associado à aplicação de ácido clorídrico, o qual propiciou o desentupimento de emissores, inclusive de alguns que já se apresentavam completamente obstruídos. Observou-se ao longo dos dias de testes e no final dos mesmos (ao redor de 400 horas de irrigação) que os precipitados químicos de ferro comprometeram o desempenho de todos os tubos gotejadores, promovendo grande redução da vazão dos emissores. O grau e a intensidade de entupimento variaram conforme o modelo, notando-se que as marcas que exigem filtração mais rigorosa (Rain Bird, e Chapin) e aspectos construtivos semelhantes-Labirintos: Rain Bird, Queen Gil e Chapin se mostraram mais susceptíveis ao entupimento. Dentro das condições de estudo deste experimento, concluiu-se que a utilização de água com este teor de ferro total (3 mg/L) mostrou-se impraticável, podendo comprometer a irrigação.

---

\* Comitê orientador: Cláudio Milton Montenegro Campos- UFLA (Orientador) e Manoel Alves de Faria- UFLA .

## ABSTRACT

**COSTA, Claudionor Camilo da. Study of the Susceptibility of Drip Hoses to clogging by chemical precipitates of iron Lavras:UFLA,2000. 85 p. (Dissertation- Master Program in Agricultural Engineering)\***

The research was carried out in a greenhouse, in Lavras, Minas Gerais State. The work consisted of using five different drip hoses models in order to irrigate with a water containing a total iron of 3.0 mg/L. In the present work, it was aimed at verifying the intensity of chemical precipitates and to observe the possible viability of only one application of chloridric acid, with overpressure, when emitters already showed too much affected concerning irrigation uniformity. The irrigation system was assembled with one reservoir of 1000 liters, a set of motor pump of 0.5 cv, a 120 mesh filter disk, a test banch measuring about 5.40m x 1.20m, where it was installed the drip hoses. The system was operated five days per week with an average daily irrigation time of 2 hours and 35 minutes. The water samples were weekly collected for a period of 5 minutes, simultaineously in the 125 emitters (25 emitters for each model). Latter on it was estimated the following parameters: average flow rate, average volume, variation flow coefficient (VFC), uniformity of distribution/emission and relative flow rate. It was tested, also the overpressure methodology associated to the application of chloridric acid, which cleaned the emitters, even those which were completed clogged. It was possible to observe, during the days of the tests, and also at the end of the research (around 400 hours of irrigation), that the chemical sediments of iron, deterioreted the performance of the drip hoses, promoting a great reduction in their flowing. The degree and the intensity of obstruction varied according to the model, observing that the makes which demanded more strictly filtration (Rain Bird and Chapin), with a similar design aspects, labyrinths: Rain Bird, Queen Gil and Chapin, showed to be more susceptible to clogging problems. In the studies conditions it could be concluded, that the utilization of water, with that total iron concentration (3 mg/L), showed to compromise the irrigation performance.

---

\* Guidance Committee: Cláudio Milton Montenegro Campos- UFLA (Major Professor) and Manoel Alves de Faria- UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

A irrigação localizada representa um grande avanço na tecnologia de irrigação. Pode ser definida como uma aplicação precisa e lenta de água na forma de gotas, gotas contínuas ou pequenos jatos através de equipamentos mecânicos genericamente denominados de emissores, localizados em pontos selecionados ao longo das linhas condutoras de água. Fertilizantes e outros produtos químicos podem ser aplicados nas culturas usando-se a irrigação localizada.

Um sistema de irrigação localizada bem manejado resulta na economia de água e energia. Entretanto, assume papel de suma importância para o sucesso do empreendimento a qualidade da água que será utilizada, pois a obstrução dos emissores parece ser o maior problema associado com a operação de irrigação por gotejamento. Como a água flui lentamente, as pequenas aberturas se enchem facilmente de algas, sais, etc., causando o entupimento das mesmas. A obstrução ocorre em virtude, principalmente, de algumas substâncias encontradas na água (carbonatos e compostos de ferro), as quais provocam a redução da vazão dos emissores, diminuindo a uniformidade de distribuição de água.

Análises cuidadosas das fontes de água são necessárias, exigindo-se água de boa qualidade, livre de problemas, tais como: sólidos suspensos e dissolvidos, como o ferro, que pode precipitar e causar problemas no sistema. A realização de certas análises de água pode ajudar a estimar a possibilidade de ocorrência de entupimento, sendo bastante aconselhável esse procedimento antes da instalação do sistema de gotejamento. O tratamento seguro e efetivo da água é o principal fator para se obter bons resultados.

Não se conhecer a qualidade da água e proporcionar um adequado tratamento são razões importantes do fracasso de alguns sistemas de irrigação localizada.

Por causa de exigência do mercado por uma maior facilidade de manuseio, associado à necessidade de redução nos custos de implantação de sistemas de irrigação localizada, surgiram no mercado vários sistemas de gotejamento confeccionados com material flexível (tubos gotejadores).

Apesar de os fabricantes recomendarem a utilização dos mesmos somente com água de boa qualidade, nem sempre segue-se à risca essa determinação, por fatores inerentes à irrigação (fertirrigação, variações de pH, temperatura e filtração mal projetada).

A presença de compostos de ferro nas águas de irrigação e de abastecimento urbano (água potável) é comum em várias regiões brasileiras e também em outras partes do mundo. Essa presença, de uma forma ou de outra, constitui um problema que deve ser solucionado, representando, via de regra, um aumento nos custos, seja da produção agrícola, seja do abastecimento público de água.

Sabe-se que a questão do entupimento de emissores na irrigação por gotejamento constitui um importante problema que se enfrenta atualmente. Tendo-se em vista essa questão, objetivou-se com este trabalho estudar a intensidade da ocorrência de precipitados químicos em dois tipos de tubos gotejadores (Integrados- "Tapes" e Chatos- "Flat") , ao longo das horas de irrigação, quando submetidos a uma água rica em sais de ferro. Uma outra meta do estudo foi observar se a água utilizada nesta oportunidade é ou não adequada à irrigação, dentro das condições do trabalho, analisando se os aspectos construtivos peculiares de cada modelo de tubo gotejador adotado poderia estar relacionado com a sua maior ou menor susceptibilidade ao entupimento. Finalmente, procurou-se observar a possível viabilidade de uma aplicação de

ácido à sobrepressão, quando os emissores já apresentassem uma uniformidade de irrigação bastante comprometida. Não foi objetivo deste trabalho comparar diferentes marcas comerciais de tubos gotejadores, apesar de ser possível ocorrer tal comparação.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A Importância da Qualidade da Água**

De acordo com Hillel (1982) e Nakayama e Bucks (1986) a qualidade da água envolve basicamente três aspectos, a saber: (1) físicos, (2) químicos e (3) biológicos. Os primeiros são determinados por partículas inorgânicas suspensas e materiais orgânicos. Sua remoção é simples, mas quando se encontram associados a lodos bacterianos, o problema é mais sério. O segundo envolve sólidos dissolvidos e pH, e os últimos estão relacionados com micro e macrorganismos.

Segundo Hassan (1999), a avaliação da qualidade da fonte de água é essencial para o projeto, operação e manutenção do sistema de irrigação localizada. A água a ser usada nesse sistema deve ser cuidadosamente analisada para avaliar qualquer problema potencial de entupimento. As análises de laboratório propiciam as informações necessárias para a avaliação apropriada, devendo ser realizadas anualmente. Testes futuros irão alertar sobre possíveis mudanças na qualidade da água. Negligenciando a análise da água e deixando de aplicar os tratamentos necessários, pode-se resultar no funcionamento inadequado do sistema de irrigação localizada .

Segundo Ayers e Westcot (1991), para a utilização de água no sistema de irrigação por gotejamento, deve-se fazer análises dos seguintes elementos: sais inorgânicos, dureza, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, DBO, DQO, matéria orgânica, microrganismos, ferro, O.D., ácido sulfídrico, ferro-bactéria e bactéria redutora de sulfatos. Esses autores afirmam também que os métodos de remoção de ferro das águas (cloração e oxidação por aeração) são difíceis e caros, devendo-se avaliar com cuidado a viabilidade dos seus usos.

O fluxo de água carrega partículas inorgânicas bem como partículas orgânicas. Essas partículas podem impedir o fluxo normal ou se depositarem nas linhas laterais ou filtros. Para Nakayama e Bucks (1986) independentemente da fonte de água, os sistemas de gotejamento requerem algum tipo de filtração para remover a carga de materiais suspensos. Entretanto, isso não é suficiente para remover todas as partículas problemáticas.

As bactérias transportadas com a água podem crescer dentro do sistema, produzindo limo e a precipitação de elementos como ferro e enxofre. Segundo a Degrémont (1979), no caso do ferro, existem as ferro-bactérias, que promovem a oxidação desse elemento, graças a enzimas de oxirredução que elas liberam; com isso, o ferro passa da forma bivalente (solúvel) para trivalente (insolúvel), o qual é armazenado em secreções mucilaginosas dessas bactérias. Os principais organismos responsáveis pela ocorrência deste fenômeno são bactérias dos gêneros *Leptothrix*, *Crenothrix* e *Gallionella*. As secreções produzidas por elas podem aglutinar finas partículas de silte e argila em agregados grandes o bastante para obstruir os emissores.

As algas também podem se desenvolver dentro das tubulações e emissores, causando problemas de entupimento. As águas ricas em nitrogênio podem facilitar o crescimento microbiológico no sistema.

## 2.2 Ferro nas Águas e nos Solos

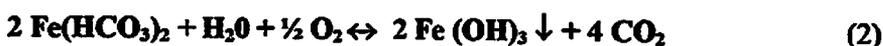
*Remoção de ferro*

Segundo Adad (1971), o ferro nas águas pode ser encontrado na forma de bicarbonato ferroso ( $\text{FeHCO}_3$ ), sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) ou complexado na forma de matéria orgânica.

A ocorrência de ferro orgânico se dá por complexação do íon ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) com a matéria orgânica dissolvida na água.

No solo esse elemento pode ser encontrado na forma de hematita ou sesquióxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) ou siderita (carbonato ferroso); a primeira altamente insolúvel, enquanto a segunda bastante solúvel .

Quando expostas ao ar (oxidadas), as águas com ferro turvam-se pela formação do Hidróxido Férrico -  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , conforme as equações :



Para Hassan (1999), o ferro e o manganês estão freqüentemente presentes nas águas subterrâneas nas formas solúveis e podem precipitar. O resultado é uma grande produção de lodo e limos que pode prejudicar sobremaneira o funcionamento do sistema de gotejamento. Esses elementos podem criar problemas de entupimento a concentrações tão baixas quanto 0,1 mg/L.

Segundo Azevedo Neto (1966), compostos de ferro e manganês apresentando-se em solução nas águas com baixo pH (presença de  $\text{CO}_2$ ), e na ausência de oxigênio dissolvido, não são notados; as águas podem ser límpidas e de bom aspecto. Após a elevação do pH, entretanto, caso essas águas entrem em contato com o ar, e à medida que vão absorvendo oxigênio, uma coloração indesejável começa a aparecer. O processo de oxidação do ferro é favorecido pelas seguintes condições : (1) Aeração, (2) Presença de bactérias (algumas bactérias conseguem obter energia quando transformam o ferro reduzido em oxidado), (3) Cloração, (4) Altas temperaturas, (5) Uma combinação dos fatores acima. Ele enfatiza ainda que uma alta acidez (pH baixo) favorece a manutenção do ferro na forma solúvel.

### 2.3 Entupimento dos Emissores

O entupimento dos emissores causado pela química da água é normalmente o resultado de reações químicas, as quais formam algum tipo de precipitado ou sólido. A composição química de uma determinada água é o resultado de vários fatores ambientais, inclusive de influências geológicas (Rain Bird, 1990).

Para Hillel (1982), não há um método simples para a determinação de problemas de entupimento antes do irrigante instalar o sistema de irrigação localizada. Tem de se levar em conta que a qualidade da água flutuará com o período do ano e portanto, amostras representativas deverão ser colhidas para análise.

Os precipitados ou sólidos que parecem ser as principais fontes de problemas para a irrigação localizada são: (1) carbonatos de cálcio e magnésio, (2) sulfetos de ferro e manganês e (3) óxidos de ferro e manganês.

No que diz respeito ao ferro e manganês, há mais interesse nos efeitos do primeiro que do segundo, tendo-se em vista que os problemas do ferro são mais difundidos. Já se provou que o manganês pode ser tóxico a algumas culturas na mesma concentração em que ele causa entupimento.

Segundo Alpha Water Systems Incorporation (1999), concentrações de ferro ferroso de 0,15 a 0,22 mg/L são consideradas como risco potencial para os sistemas de gotejamento. Já entre 0,2 a 1,5 mg/L, o risco de entupimento se torna moderado. Concentrações acima de 1,5 mg/L são descritas como potencialmente severas.

Para Hernandez e Petinari (1998), o uso de água para irrigação com teores de ferro acima de 0,5 mg/L já merece atenção especial por parte dos projetistas, pois pode obstruir tubulações em pouco tempo e, em grau extremo, até inutilizar o sistema de irrigação. No caso do trabalho por ele desenvolvido,

houve obstrução de uma rede PVC de 50 mm de diâmetro da ordem de 58,4% em 25 meses de uso, mesmo empregando filtro de disco de 150 mesh .

A qualidade da água para sistemas de irrigação localizada, com relação ao entupimento, deve ser avaliada de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 1:

**TABELA 1.** Classificação dos riscos de uso de águas de diferentes qualidades para irrigação localizada com relação ao entupimento.

ELEMENTOS	SEVERIDADE DO PROBLEMA		
	BAIXA	MODERADA	ALTA
Sólidos em Suspensão (mg/L)	<50	50 a 100	>100
PH	<7,0	7,0 a 8,0	>8,0
Manganês (mg/L)	<0,1	0,1 a 1,5	>1,5
Ferro (mg/L)	<0,2	0,2 a 1,5	>1,5
Sulfeto de Hidrogênio (mg/L)	<0,2	0,2 a 2,0	>2,0
População Bacteriana n°./mL	<10000	10000 a 50000	>50000

Fonte: Adaptado de Nakayama e Bucks (1986).

Para os Sólidos em Suspensão, existem algumas variações de limites, entre elas, temos (Rain Bird, 1990):

- Severidade Baixa < 40 mg/L;
- Severidade Moderada: 41 a 80 mg/L
- Severidade Alta > 81 mg/L.

Segundo Costa, Vieira e Viana (1994), a quimigação, principalmente a fertirrigação, pode aumentar os riscos de entupimento dos emissores, pois a fertilização da água promove o desenvolvimento e a proliferação de algas e fungos. O entupimento dos emissores reduz a uniformidade de aplicação e afeta a distribuição dos produtos químicos veiculados pela água de irrigação .

Para Ford (1980), o pH da água, temperatura e as fontes de carbono orgânico são os fatores mais importantes que influenciam o crescimento bacteriano e o desenvolvimento de limo. O limo bacteriano se prolifera melhor a temperaturas entre 20 e 30° C, mas pode-se desenvolver a temperaturas mais baixas, embora a menores taxas. O pH é especificamente importante na relação com os problemas de deposição de ferro. As concentrações de ferro podem flutuar com o tempo, tornando-se necessário monitorá-las periodicamente.

Bucks, Nakayama e Gilbert (1979) afirmam que os fatores físicos, químicos e biológicos de entupimento estão intimamente interligados e, controlando-se um, pode-se também aliviar os problemas causados pelos outros. Por exemplo: reduzindo-se o limo microbiano, pode-se reduzir também a tendência de partículas em suspensão na água aderirem, aglomerarem e desenvolverem lodo nos emissores e linhas de irrigação.

Para Pizarro Cabello (1996), os precipitados químicos podem ser produzidos quando ocorre a evaporação da água nos emissores após cada irrigação (entre outros fatores), o que aumenta a concentração dos sais dissolvidos que se precipitam ao superar o limite de solubilidade.

Ainda de acordo com Pizarro Cabello (1996), o risco de obstrução de um emissor depende do diâmetro mínimo do orifício de saída e da velocidade da água. Nos emissores de baixa vazão, o diâmetro de saída pode variar entre 0,3 até algo acima de 1,0mm. Entretanto, nos emissores de alta vazão, como microaspersores e microdifusores, os diâmetros podem chegar a mais de 2,0mm, nos quais o risco de obstrução é muito menor. A Tabela 2 apresenta a classificação dos emissores segundo a sensibilidade ao entupimento, de acordo com o diâmetro mínimo de saída do emissor.

Quanto maior a velocidade da água dentro da tubulação, menor o risco de sedimentação; por essa razão, prefere-se o regime turbulento ao laminar para fluxo de água em irrigação localizada.

**TABELA 2.** Classificação dos emissores segundo a sensibilidade ao entupimento, com base no diâmetro mínimo de passagem de água .

Diâmetro mínimo(mm)	Sensibilidade à obstrução
≤ 0,7	Alta
0,7-1,5	Média
>1,5	Baixa

Fonte: Pizarro Cabello (1996).

Hillel (1982) afirma que antes de se tentar resolver o problema do entupimento, a causa exata do fenômeno deve ser determinada em cada caso. Isso envolve uma avaliação da qualidade da água e dos emissores obstruídos. Muitas vezes o entupimento é um caso especial e particular, e soluções gerais e universais citadas pela literatura podem não surtir o efeito desejado.

Para Nakayama e Bucks (1986), o entupimento biológico é bastante sério em sistemas de irrigação por gotejamento contendo sedimentos orgânicos e ferro ou H<sub>2</sub>S. A ferro-bactéria, nas linhas de irrigação por gotejamento, pode precipitar o ferro complexado solúvel, além de poder também utilizar e precipitar o ferro ferroso complexado com polifosfatos e outros materiais quelatados.

#### **2.4 Desobstrução Aleatória de Emissores**

Leite (1995), estudando o entupimento provocado por precipitados químicos de carbonato de cálcio, em cinco modelos diferentes de tubos gotejadores, observou que ocorriam oscilações, analisando-se a vazão relativa, ou seja, ao invés de ocorrer uma diminuição, havia aumento nas irrigações

subseqüentes. Ele concluiu que isso se devia a desobstruções aleatórias que ocorriam em alguns emissores dentro do mesmo modelo utilizado.

Algumas oscilações foram constatadas também na vazão média e no Coeficiente de Variação de Vazão (C.V.Q.), em que o autor acima afirma que elas ocorreram em virtude de coletas realizadas no período da tarde.

## **2.5 Prevenção e Controle do Entupimento de Emissores por Precipitados Químicos**

A forma mais usual de se prevenir o entupimento causado por carbonatos é a adição de ácido à água. O ácido reage com o bicarbonato provocando redução da concentração de bicarbonatos e carbonatos. Os ácidos mais usados para esse propósito são: (1) ácido clorídrico, (2) ácido fosfórico e (3) ácido sulfúrico (Rain Bird, 1990).

A Scarcelli (1999) faz várias considerações sobre o entupimento:

- (1) Por causa dos pequenos orifícios, baixa taxa de vazão e baixa pressão, os gotejadores são susceptíveis ao entupimento;
- (2) Algas, ferro ferroso e  $H_2S$  estão entre os principais agentes entupidores;
- (3) O agente químico de maior sucesso no tratamento de vários problemas de entupimento é o cloro livre;
- (4) O cloro deverá ser sempre injetado antes dos filtros;
- (5) Deve-se ter no final da linha do gotejador mais distante do ponto de injeção um nível de 1 a 2 mg/L de cloro livre;
- (6) A cloração geralmente é feita no fim do ciclo de irrigação. Isso é adotado para assegurar a existência de cloro livre disponível na água dentro dos tubos gotejadores, entre duas irrigações;
- (7) Para algas, deve-se injetar cloro suficiente para alcançar 1 ou 2 mg/L de cloro livre no início do ciclo de irrigação. Filtros de areia devem ser usados quando se têm algas presentes na água;

(8) Para ferro, usa-se 1 mg/L de cloro para cada 1 mg/L de ferro na água. O cloro oxida e precipita o ferro, matando as bactérias férreas. Recomenda-se usar filtros de areia para um teor de ferro acima de 2,5 mg/L. Abaixo desse valor, um filtro de tela é o suficiente.

(9) Para tratamento de enxofre, usam-se 9 mg/L de cloro para cada 1 mg/L de enxofre na água.

Segundo Andrade (1999), para que o ferro não venha a entupir as tubulações e as passagens estreitas dos emissores, pode-se adotar algumas estratégias: (A) Manter o ferro sempre solúvel; (B) Precipitar todo o ferro e passar a água por uma lagoa de decantação para que o ferro precipitado decante, e depois, bombear para os filtros; (C) Precipitar todo o ferro antes dos filtros, para que fique retido e não entre no sistema; (D) Precipitar uma parte e deixar a outra parte em solução, até a saída dos gotejadores.

De acordo com o teor de ferro e com o valor econômico da cultura, pode-se: (1) Montar uma cascata aeradora antes de um tanque de decantação; (2) Utilizar um sistema de injeção de cloro para precipitar o ferro antes dos filtros; (3) Injetar ácido para abaixar o pH e conservar o ferro em solução; (4) Injetar cloro para controlar o desenvolvimento de bactérias; (5) Combinar os métodos acima; (6) Usar tubos gotejadores como custeio e não como investimento em culturas de alto valor econômico.

Para Azevedo Neto (1966), na seleção do processo para remoção do ferro deve ser considerada a forma como esse elemento se apresenta na água:

- Compostos dissolvidos (não ligados à matéria orgânica);
- Ferro ligado à matéria orgânica;
- Ferro combinado com a matéria orgânica.

De acordo com Adad (1971), quando os compostos de ferro estão dissolvidos (não ligados à matéria orgânica), sua remoção se dá por simples aeração. No caso do ferro ligado à matéria orgânica, exige-se, além de aeração,

uma ação de contato com produtos previamente oxidados e precipitados (leitos de contato); estando o ferro combinado com a matéria orgânica, demanda-se tratamento químico.

O ferro em solução, pH acima de 6,5 e não associado à matéria orgânica (geralmente bicarbonato ferroso), pode ser facilmente removido por uma simples aeração e posterior decantação. Após a aeração, há necessidade de se ter um pequeno tanque de retenção do material precipitado ou mesmo um decantador com tempo de detenção hidráulica de 10 a 60 min.

Para Keller e Bliesner (1990), algumas bactérias podem produzir lodo suficiente para obstruir o emissor mesmo com concentrações de ferro inferiores a 0,3 mg/L, principalmente quando o pH da água se encontra na faixa de 4,0 a 8,5. Para minimizar o problema, normalmente o sistema de irrigação é superclorado para permitir a concentração de cloro de pelo menos 10 mg/L na tubulação. Isso é praticado até que o material orgânico esteja oxidado e eliminado do sistema. A cloração contínua demonstra ser o melhor método para combater a ferro-bactéria, usando-se 1 mg/L acima do número de mg/L de ferro presente (dependendo do número de bactérias a se controlar). Para a precipitação do ferro, usa-se 0,64 vezes a concentração de  $Fe^{2+}$ , para que seja mantido um cloro residual livre de 1 mg/L no final das linhas laterais. A eficiência da cloração depende do pH. Quanto maior for o pH, maior a quantidade de cloro requerido.

Ford (1977) observou que 20 mg/L de cloro residual livre (que não são os íons cloreto) aplicado três vezes por semana, durante três semanas, para citrus, causou algum tombamento nas folhas e paralisou o crescimento das raízes. Danos às plantas não devem ser esperados para aplicação de baixas concentrações de cloro.

Medina San Juan (1988) ressalta que no caso da irrigação por gotejamento, a absorção do cloro através das raízes é menos prejudicial do que

quando se usam sistemas que molham as folhas (aspersão por exemplo). Águas com concentrações de cloro de até 20 meq./L podem ser usadas. No caso da aspersão, concentração de cloro de 2 a 5 meq./L já produzem danos, pois o cloro ao acumular-se nas folhas afeta a abertura dos estômatos, ocasiona excessivas perdas de água e provoca sintomas semelhantes aos de uma forte seca. A concentração de cloro tolerável na solução do solo depende do tipo de planta cultivada ou da variedade em questão.

Nakayama e Bucks (1986) relataram experimentos realizados na Flórida (E.U.A.), os quais indicaram que o ferro ferroso a níveis abaixo de 0,2 mg/L podem contribuir para a deposição do elemento, e que a cloração controlou com sucesso o ocre, quando o ferro estava abaixo de 3,5 mg/L e pH abaixo de 6,5. Concluíram que a utilização por um longo tempo de águas com altos níveis de ferro, manganês ou H<sub>2</sub>S pode ser inadequada para a irrigação por gotejamento.

Em seus estudos com água do Rio Colorado (E.U.A.), Nakayama, Bucks e Gilbert (1978) concluíram que o tratamento mais eficiente para a prevenção de entupimento por carbonatos foi a acidificação contínua para controle de pH. Mas verificaram também que a combinação dos tratamentos contínuos (1 mg/L) ou intermitentes (10 mg/L) com cloro e ácido sulfúrico mostrou-se mais efetiva do que a acidificação apenas. Observaram também que os emissores com partes móveis foram mais susceptíveis ao mau funcionamento e entupimento. Cinco dos oito sistemas de emissores necessitaram de filtros de areia e tela (200 mesh), mais o condicionamento químico da água para impedir o entupimento.

English (1985) recomenda o uso de cloração na faixa de 1 mg/L (contínua) ou 10 a 20 mg/L (intermitente no intervalo de 30 a 60 min) para solucionar o problema de ferro-bactérias. Salienta-se, ainda, que o custo da cloração pode ser elevado quando se trata de grandes sistemas, em que os teores de ferro são altos.

Ele afirma que a aplicação do cloro antes dos filtros é prudente, uma vez que previne o crescimento de bactérias ou algas nos interstícios do meio filtrante (areia), reduzindo o potencial do filtro servir como incubador, acumulando substâncias orgânicas.

Para Ayers e Westcot (1991), a injeção contínua de cloro na água, nos sistemas de irrigação localizada, mesmo que muito eficiente, não é economicamente justificável, uma vez que valores altos de pH indicam maiores quantidades de cloro a se usar.

Bar (1995) utilizou água contendo até 6 mg/L de ferro em seus estudos. Nas culturas irrigadas diariamente durante os três anos de execução dos trabalhos, não houve problemas significativos de entupimento. O sistema de tratamento da água por ele utilizado era composto de um clorador cloro- gás, hidrociclone, contendo discos de filtragem, filtros de areia e filtros auxiliares de discos.

Schakschouk (1996) considera que o tratamento físico da água (aeração com posterior decantação) é preferível ao tratamento químico. Ele cita como vantagem que a aeração das águas subterrâneas propiciaria uma oxidação do ferro e manganês. Além disso enumera mais outras oito vantagens, dentre elas, a volatilização do gás sulfídrico ( $H_2S$ ), que previne a formação dos complexos de enxofre, ferro e manganês .

Clark (1998), trabalhando com águas com 2 a 4 mg/L de ferro a um pH de 5,5, não observou problemas de entupimento, mas quando o pH aumentou para 7, com essas mesmas concentrações de ferro, houve nítidos problemas. Para solucionar a questão, ele recomenda um pré-tratamento com o uso de cloro e filtros para reter os precipitados. Aconselha, ainda, o emprego de ácido para diminuir o pH e manter o ferro em solução.

Ornstein (1998) afirma, quanto à precipitação do ferro na água, que inicialmente as partículas de  $Fe(OH)_3$  podem se apresentar muito pequenas e,

com isso não serem retidas nos filtros. Para resolver esse problema, ele recomenda a adição de sais de alumínio, principalmente o sulfato de alumínio, que promoverá uma maior agregação das partículas (floculação), facilitando, assim, a remoção.

Du Plessis (1998), contrariando as recomendações de Omstein, considera impraticável a técnica de oxidação e floculação, afirmando que os volumes a serem tratados são muito grandes quando comparados ao curto espaço de tempo. Além do mais, afirma que haverá aumento na intensidade de manutenção dos filtros.

Storlie (1998) destaca que nem sempre é possível manter o ferro em solução pela injeção de ácidos, pois a variação de outros fatores, tais como : temperatura da água, pH, pressão e teor de oxigênio podem promover a precipitação deste elemento químico. Pondera também que, trabalhando com teores de ferro na ordem de 43 mg/L, o emprego de polifosfatos não foi satisfatório e não se conseguiu manter essa grande quantidade de ferro em solução.

Pitts (1998) diz que o tratamento químico da água pode ser caro e nem sempre se consegue produzir os resultados esperados com concentrações de Fe maiores que 5 mg/L, tomando a aeração em lagoas uma alternativa mais atrativa.

Bar (1998) afirma que para níveis de ferro total acima de 7 mg/L a aeração com sedimentação pode ser a única opção eficiente na remoção desse elemento.

A Tarpon (1999) apresenta um sal composto por polifosfato, ortofosfato e sódio, o qual exibe as seguintes características: (A) Desincrustante: elimina os depósitos de óxido e carbonatos existentes no interior das tubulações; (B) Antioxidante: impede a oxidação das partes metálicas das tubulações; (C) Seqüestrante: a sua aplicação em águas com alto teor de ferro elimina imediatamente o tom avermelhado e evita as deposições de ferro; (D) Atóxico.

Segundo Relatório Técnico do IPT, o produto apresenta uma quelação equivalente a 1 mg/L de Fe/Mn/Cu/Pb para 1 mg/L do produto e 200 mg/L de Ca/Mg para 1 mg/L do produto.

## **2.6 Recuperação de Emissores Obstruídos**

Myers, Harrison e Phillips (1976) limparam emissores que tinham pequena quantidade de limo e pequena redução de vazão, usando 250 mg/L de cloro por pelo menos 12 horas sem causar danos a plantas de citrus.

Nakayama, Bucks e French (1977) recuperaram alguns emissores obstruídos com limo bacteriano, tratando o sistema por mais ou menos 24 horas com 100 mg/L de cloro e adicionando ácido sulfúrico para abaixar o pH para 2. As vazões foram incrementadas de 50% para 90 a 95% da vazão original de projeto. Após o tratamento de recuperação, a adição contínua de cloro na base de 1 mg/L a um pH de 7 ajudou a manter o sistema em funcionamento por mais 3 anos.

Ford (1980) usou um tratamento com ácido clorídrico a 2% por 15 minutos para remover ocre e limos em emissores, ocorrendo uma redução do pH do solo de 6 para 5.

Meyer (1985) recomenda alguns procedimentos para o tratamento de entupimentos por cálcio e ferro: (1) Testar a vazão dos vários emissores, obstruídos e não obstruídos; (2) Testar a pressão dos emissores iniciais e finais; (3) Encher as linhas com água acidificada até pH igual a 2 (injeção após o filtro); (4) Checar o pH no final das linhas para se certificar de que a quantidade suficiente de ácido foi aplicada; (5) Deixar a água acidificada permanecer nas linhas por uma hora; (6) Lavar bem; (7) Repetir o procedimento até que saia água limpa; (8) Conferir a vazão dos emissores previamente testados. O sucesso

do tratamento é mostrado pela melhoria da performance do emissor .

Segundo Pizarro Cabello (1996), pode-se usar ácidos na desobstrução de precipitados calcários e ferruginosos; entretanto, não é usual injetá-los em toda a instalação simultaneamente, mas sim separadamente, por unidades ou subunidades de irrigação, com o objetivo de controlar melhor a operação. Deve-se adicionar produto à água em quantidade suficiente para rebaixar o pH da mistura até 2.

A aplicação de água e ácido se faz com a menor pressão possível. Quando, por meio de papel indicador de pH, se comprova que a água acidificada sai pelo emissor mais distante, corta-se a entrada de água e se mantém assim durante uma hora, no final da qual procede-se a uma limpeza com a maior pressão possível que o sistema suporte, abrindo-se em primeiro lugar as extremidades das tubulações de maior ordem até que a água saia limpa. Em seguida, fecha-se essa tubulação e abrem-se as de ordem seguinte e assim até as laterais, tudo isso com o objetivo de que as incrustações desprendidas das tubulações não cheguem aos emissores. Depois de limpar as tubulações e continuando-se com alta pressão, limpam-se os emissores durante 15 minutos.

## 2.7 A Uniformidade de Irrigação

Bucks e Myers (1972) consideram que a desuniformidade na distribuição de água é um fator básico para avaliar a qualidade de irrigação, influenciando diretamente na produção da cultura e nos gastos de água; sendo a uniformidade de aplicação afetada principalmente pelas imperfeições de fabricação dos emissores e mudanças na pressão ao longo da linha lateral e pelos entupimentos que poderão ocorrer durante o tempo de uso.

Para Moraes (1984), na prática as variações de vazão dos emissores ocorrem em virtude de diversos fatores, tais como: (1) Características do

gotejador projetado; (2) Variabilidade na sua fabricação; (3) Tempo de uso; (4) Perdas de carga por atrito nas tubulações da rede de distribuição; (5) Diferenças topográficas na área do projeto; (6) Número de gotejadores entupidos no sistema; (7) Número e o grau de gotejadores parcialmente entupidos no sistema; (8) Variação na temperatura da água por todo o sistema.

De acordo com Hillel (1982), um dos fatores importantes que influenciam a Uniformidade de Distribuição/Emissão de água é o entupimento dos emissores.

Na irrigação por aspersão, Christiansen (1942) estabeleceu o coeficiente de uniformidade  $C_u$ , por meio da equação:

$$C_u = \left[ 1 - \left( \frac{\Delta q}{q_m} \right) \times 100 \right] \quad (3)$$

em que:

$q_m$  : vazão média do aspersor ;

$\Delta q$  : o desvio absoluto médio das vazões do aspersor.

Keller e Karmeli (1975) foram os primeiros a definir um percentual de uniformidade de emissão empírico para projeto de sistemas de irrigação localizada, conforme a equação:

$$U.E. = \left[ 1 - 1,27(CVF)^n \right] \times \left( \frac{q_n}{q_m} \right) \times 100 \quad (4)$$

em que:

CVF: coeficiente de variação de fabricação;

$n$ : número de emissores por planta (mínimo de 1);

$q_n$  : mínima vazão;

qm: vazão média.

A Uniformidade de Emissão aumenta à medida que se aumenta o número de emissores por planta .

Wu e Gitlin (1977) propuseram um outro parâmetro chamado variação de vazão do emissor, definido pela equação:

$$qvar = \left[ 1 - \left( \frac{q_n}{q_m} \right) \right] \times 100 \quad (5)$$

em que :

qn: vazão mínima;

qm :vazão máxima.

O conceito de uniformidade de emissão foi originalmente apresentado por Keller e Karmeli (1974), cuja definição é baseada na razão entre as vazões mínima e média dos emissores.

Merrian e Keller (1978) e James (1988) descreveram procedimentos de campo para medição de pressão e vazões de emissores. A uniformidade de emissão/distribuição de campo pode ser expressa pela equação:

$$U.E.c = \frac{\bar{q}_{25}}{\bar{q}} \quad (6)$$

em que o numerador representa a média das 25% menores vazões medidas e o denominador, a média geral da vazões.

Merrian e Keller (1978) afirmam que o teste de uniformidade de distribuição visa à determinação de espaçamentos ótimos entre tubos gotejadores, quando esses forem utilizados para culturas em linhas.

Segundo Pizarro Cabello (1996), a uniformidade de emissão/distribuição (definida pela Equação 6) pode ser utilizada tanto para fins de dimensionamento

do sistema (impõe-se a uniformidade), como para sua avaliação de um sistema já instalado.

Karmeli e Keller (1974) estabeleceram dois importantes fatores que podem ser determinados por meio de testes de campo e estimados na elaboração de projetos. Definiram como Uniformidade de Emissão a relação entre as vazões mínimas e médias dentro do sistema, e como Uniformidade de Emissão Absoluta (U.E.A.) a relação entre vazões mínimas e máximas. Estabeleceram, ainda, como regra geral, que um sistema de irrigação por gotejamento não deve ser projetado para um valor de U.E.A. inferior a 90%. A uniformidade de emissão é usada para calcular a lâmina total de irrigação e a capacidade requerida pelo sistema.

A Tabela 3 apresenta recomendações de valores para a Uniformidade de Emissão/Distribuição.

**TABELA 3.** Classificação recomendada para uniformidade de distribuição/emissão para projeto.

Tipo de emissor	Espaçamento (m)	Topografia do terreno	Declividade (%)	UD =EU (%)
L.C.P	>4	Uniforme	< 2	90 a 95
		Declivosa ou ondulada	>2	85 a 90
P.C.S	< 4	Uniforme	< 2	85 a 90
		Declivosa ou ondulada	>2	80 a 90
L.C.A.P.	Qualquer	Uniforme	< 2	80 90
		declivosa ou ondulada	>2	70 85

Fonte: ASAE EP 405.1(1994)

em que:

L.C.P : Emissão pontual em culturas perenes;

P.C.S : Emissão pontual em culturas semiperenes ou perenes;

L.C.A.P. : Emissão linear em culturas anuais ou perenes;

U.E.=U.D. : Uniformidade de Distribuição/Uniformidade de Emissão.

### 2.7.1. O Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF):

Com relação às imperfeições de fabricação dos emissores, Vieira (1996) cita que no dimensionamento de sistemas de irrigação localizada deve-se considerar a variabilidade existente de gotejador para gotejador, decorrentes do processo de fabricação.

Dois gotejadores retirados do mesmo lote, testados à pressão e temperatura constantes, poderão possuir diferentes vazões. Essa diferença vai depender do modelo, do projeto do gotejador, dos materiais usados em sua construção e do controle de qualidade com o qual é fabricado.

Moraes (1984) salienta que é praticamente impossível fabricar duas unidades exatamente iguais. Alguma variação sempre existirá entre objetos supostamente "idênticos".

Segundo ASAE (1994), o Coeficiente de Variação de Fabricação do gotejador (CVF) é um termo usado para descrever essa variação antecipada na vazão de uma amostra de gotejadores novos, quando operados numa pressão aproximadamente igual à pressão de serviço recomendada pelo fabricante, sendo obtido pela equação:

$$CVF = \frac{S}{q_{med.}} \quad (7)$$

em que :

**CVF** : coeficiente de variação de fabricação ;

$q_{mod}$ : média da vazão dos emissores, à pressão de referência;

**S**: desvio padrão da vazão de uma amostra adequada de gotejadores novos, testados na pressão de serviço normal.

Esse coeficiente de variação foi definido, dentre outros, pela ISO/9261 (1991) e pela ASAE (1994).

Para Solomon (1979), valores comuns de Coeficientes de Variação de Fabricação do gotejador podem variar de 0,02 a 0,10, apesar de valores acima desse intervalo também serem observados em alguns casos. O significado físico do CVF pode ser explicado por assumir a distribuição de vazão segundo uma “distribuição estatística do tipo normal”, para um dado dispositivo, trabalhando em sua pressão de serviço.

Segundo Hillel (1982), o CVF pode classificar os emissores, de acordo com os seguintes valores:

a) Para Gotejadores, Miniaspersores e Difusores:

CVF até 5%.....	Bons
CVF entre 5 e 10 %.....	Médios
CVF entre 10 e 15%.....	Deficientes
CVF acima de 15%.....	Inaceitáveis

b) para Tubos Gotejadores:

CVF até 10%.....	Bons
CVF entre 10 e 20 %.....	Médios
CVF acima de 20%.....	Deficientes e Inaceitáveis

Como forma de ilustração, obteve-se um levantamento dos teores médios de ferro total, junto à COPASA/MG (2000), em mananciais de algumas cidades do Sul de Minas Gerais, no período de 1995 a 2000. Na maioria dessas localidades (Tabela 10A), os teores de ferro mostraram-se próximos a 3 mg/L, o que vem reforçar a presença marcante desse elemento, inclusive nas águas de abastecimento público.

Em função de todos os aspectos abordados nesta revisão bibliográfica, das questões que devem ser analisadas num projeto de irrigação por gotejamento (principalmente no que diz respeito à qualidade de água), e, via de regra, da utilização desse sistema de irrigação de maneira inadequada no campo, justifica-se a realização de pesquisas como esta, no sentido de se poder visualizar, entre outros pontos, a intensidade com que os entupimentos ocorrem, quando da utilização de águas ricas em compostos que provocam a formação de precipitados. Esses estudos podem fornecer dados importantes no sentido de se evitar o comprometimento da uniformidade da irrigação, mantendo-a em níveis adequados para o gotejamento.

Fica claro, então, que a qualidade de água é um dos principais fatores que devem ser levados em consideração quando o assunto é irrigação localizada.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Setor de Plantas Medicinais do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA) na cidade de Lavras, Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são: 21°15' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste.

O experimento foi conduzido em uma casa-de-vegetação (piso nivelado) com 10 metros de comprimento por 5 metros de largura, cobertura em sombrite, com área construída de 50 m<sup>2</sup> (Figura 1).



**FIGURA 1.** Casa de Vegetação utilizada no experimento: Setor de Plantas Medicinais-DAG/UFLA.

Neste trabalho foi considerado apenas a influência da variabilidade na fabricação dos tubos gotejadores, tanto para o estudo da uniformidade de irrigação como para a influência dos precipitados químicos, apesar de se ter consciência de que outros fatores (conforme o mencionado no item 2.7) também afetam a vazão dos emissores.

### 3.1 Descrição das características de irrigação.

O sistema (Figura 2) foi composto de um conjunto moto-bomba , com potência de 0,5 cv , uma bomba centrífuga BC-96, um filtro de disco 3/4" 120 mesh e uma caixa d'água de 1000 litros.



**FIGURA 2.** Conjunto motobomba , Filtro de Disco e Registros de Esfera .

No que diz respeito ao sistema de filtração adotado, deve-se salientar que o ideal seria a utilização de um filtro de 200 mesh, tendo em vista as exigências de alguns dos modelos de tubos gotejadores empregados no estudo. Entretanto, usou-se um com 120 mesh por não se ter conseguido o modelo recomendado à época de instalação do experimento. Ressalta-se, então, que a filtração realizada durante toda a pesquisa esteve aquém daquela recomendada pelos fabricantes.

A bancada de teste foi construída com cantoneiras e chapas metálicas com comprimento de 5,40m, largura de 1,20m e altura de 0,30m, apoiada sobre

roldanas. Sobre a bancada, foram instalados cinco modelos de tubos gotejadores (Chapin, Naan paz-10, Netafim, Queen Gil e Rain Bird).

A Figura 3 mostra a disposição da bancada dentro da casa-de-vegetação.



**FIGURA 3.** Bancada de testes onde se realizaram as coletas de água.

No início de cada linha de tubos gotejadores, foram instalados pontos para tomada de pressão.

Foi empregado Manômetro tipo Bourdon, pré-aferido, para controle da pressão de trabalho de 68,67 kPa (7 m.c.a.). Esse nível de pressão representou um valor adequado para os cinco modelos de tubos gotejadores utilizados. Além disso, foram utilizadas válvulas reguladoras de pressão da marca Bermad (para a faixa de trabalho de 49,05 a 98,1 kPa).

### 3.2 Características dos Tubos Gotejadores estudados .

O ensaio avaliou o desempenho de cinco modelos de tubos gotejadores (Tabela 4) submetidos a uma água rica em compostos de ferro (3 mg/L de ferro total).

**TABELA 4.** Descrição técnica dos modelos de tubos gotejadores usados no experimento.

<b>Modelo</b>	<b>Parede (mil)</b>	<b>DI (mm)</b>	<b>S (cm)</b>	<b>Q (L/h x got.)</b>	<b>Pressão (kPa)</b>	<b>Filtração Mínima (mesh)</b>
Chapin 6250	15	15,8	20	0,74	68,67	200
Naan paz 10	11	15,8	30	1,42	68,67	120
Netafim SL 60	6	16,1	20	0,89	68,67	120
Queen Gil	8	16,5	11	0,44 <sup>1</sup>	49,05	120
Rain Bird Tape TPC	9	16,0	20	1,10	68,67	200

Fonte: Dados dos Fabricantes <sup>1</sup>Dado de vazão a 68,67 kPa não disponível

em que:

DI: Diâmetro interno (mm)

S: Espaçamento entre emissores (cm)

Q: Vazão

1 mil : 0,0254mm

É importante salientar que neste experimento foram testados dois grupos distintos de tubos gotejadores, a saber: Gotejador Integrado-"Tape" (Chapin, Queen Gil e Rain Bird) e Gotejador Chato -"Flat" (Naan e Netafim).

### 3.3 Metodologia adotada no experimento.

Para se avaliar o desempenho dos tubos gotejadores, foram utilizados segmentos de tubos com 25 emissores cada um, de acordo com a norma ISO/9261 (1991). Ressalta-se que todos os modelos utilizados no trabalho funcionaram sem válvula de drenagem no final das linhas, válvulas essas que permitiriam uma melhor manutenção do sistema.

Esses tubos gotejadores foram dispostos em nível (espaçados 20cm um do outro) sobre uma bancada de testes de chapas metálicas providas de rodas, que se deslocavam sobre trilhos, para viabilizar o gotejamento de todos os emissores no interior dos recipientes de coleta. Sendo que os emissores ficavam voltados para baixo.

A coleta era realizada semanalmente, em frascos plásticos com volume aproximado de 300 mL, durante o período de 5 minutos, a uma pressão de 68,67 kPa (7 m.c.a.). Após cada coleta, procedia-se a pesagem (para maior exatidão) em balança com precisão de 0,01 g no Laboratório de Controle da Poluição-DEG/UFLA. O peso obtido era transformado em volume, desconsiderando a variação da viscosidade da água ( massa específica como sendo de  $1 \text{ g/cm}^3$ ).

Por questões operacionais, irrigava-se cinco dias por semana.

Não foi possível padronizar o número de horas de irrigação por dia; por isso, em alguns dias irrigou-se mais do que em outros. O número médio diário de horas de irrigação foi de 2h e 35min (até antes da aplicação do ácido), sendo que no final dos testes este valor subiu para 2h e 37min.

Foi aplicado o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, descrito por Campos (1979), pelo qual pôde-se constatar a distribuição normal das vazões dos tubos gotejadores quando novos, conforme pode-se verificar pelas Tabelas 3A, 4A, 5A, 6A e 7A.

### 3.3.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov

Solomon (1979) assume que o C.V.F. (Coeficiente de Variação de Fabricação) apresenta distribuição estatística do tipo Normal.

Para a confirmação dessa afirmativa, foi aplicado o teste acima no intuito de verificar o comportamento das vazões aplicadas pelos emissores dos cinco modelos de tubos gotejadores utilizados no experimento.

#### 3.3.1.1 Procedimentos

- Para a realização deste teste, utilizou-se água de boa qualidade para a irrigação (Água tratada do Campus da UFLA);
- Admitiu-se, a princípio, que os dados apresentavam a Distribuição Estatística Normal, de acordo com a Equação 8:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

em que:

$\sigma$ : desvio-padrão

$\pi$ : 3,1415...

e: base do logaritmo exponencial

$\sigma^2$ : Variância

x: valor observado

m : média

$$S(X_i) = \frac{k}{n} \quad (9)$$

em que:

k : n° da observação

n: n° de emissores usados em cada modelo de tubo gotejador (n =25)

Considerando-se a Distribuição Estatística Normal, tem-se :

$$\bullet \quad F(X) = \int_{-\infty}^X f(x) dx = P(x \leq X) \quad (10)$$

- Confeccionaram-se planilhas para os modelos de tubos gotejadores utilizados, a saber: Chapin, Naan, Netafim, Queen Gil e Rain Bird;
- Obteve-se o d por meio da Tabela do Teste Kolmogorov-Smirnov (Campos, 1979);

Com n= 25 e  $\alpha=0,05$ , este valor é de 0,264;

- Se  $Po(D < d) \Rightarrow X_i \cap N(m ; \sigma^2)$ , ou seja, aceita-se que as vazões apresentavam Distribuição Estatística Normal.

D= Maior valor da relação  $|F(X)-S(X)|$

### 3.3.2 Teste de significância de médias (Teste de t)

O objetivo dos testes de significância de médias é o de avaliar afirmações feitas a respeito de médias populacionais (Stevenson, 1981). A expressão que permite calcular t, neste caso, é :

$$t_c = \frac{x_{med} - \mu_0}{\frac{s_x}{\sqrt{n}}} \quad (11)$$

em que:

t c: valor de t calculado

$\bar{x}$  med : média amostral

$\mu_0$ : média alegada

$s_x$ : desvio padrão amostral

$n$  : n° dados amostrados

Aplicou-se o teste de  $t$  para o tubo gotejador Netafim, no intuito de se verificar se as médias de Vazão Média (L/h) e Vazão Relativa-V.R.(%) antes e depois da aplicação de ácido à sobrepressão (375h e 380h acumuladas, respectivamente), apresentavam diferenças estatisticamente significativas.

Pelo teste:

- Se  $t_c > t_{tab.}(\alpha, n-1) \rightarrow$  rejeita-se  $H_0$
- Se  $t_c < t_{tab.}(\alpha, n-1) \rightarrow$  aceita-se  $H_0$ .

$H_0$ : as médias são iguais ( $d=0$ )

$H_a$  : as médias são diferentes ( $d \neq 0$ )

em que:

$\alpha$  : nível de confiança

$n-1$ : graus de liberdade

Não se fez o mesmo teste para os outros quatro modelos de tubos gotejadores estudados, tendo em vista que, apesar de ter ocorrido aumento na vazão relativa dos mesmos (Tabela 9), a uniformidade de distribuição/emissão não demonstrou o mesmo comportamento, permanecendo em níveis inadequados. (Tabela 7).

### 3.3.3 Análise de Regressão

Foram realizadas análises de regressão (Stevenson, 1981 entre outros), baseando-se em uma planilha eletrônica, para os cinco modelos de tubos

gotejadores empregados no experimento, contendo os valores de vazão relativa (V.R.), em função do número de horas acumuladas de irrigação, em que:

- $y = \text{Vazão Relativa} - \text{V.R.}(\%)$
- $x = n^\circ$  de horas acumuladas de funcionamento do sistema de irrigação.

Tendo-se em vista que regressão linear apresenta melhor visualização prática, neste caso deu-se preferência à sua interpretação.

### 3.3.4 Análises de ferro total e preparo da água de irrigação

Utilizou-se como fonte de água para os trabalhos, água da Represa da Zootecnia (UFLA) localizada no Campus da UFLA. Essa água possuía um teor natural de ferro em torno de 0,5 mg/L, no início dos trabalhos, variando ao longo dos testes (Tabela 2A e Figura 8). Como a pesquisa foi conduzida com um teor fixo em 3 mg/L, somente foi acrescentado o complemento.

O teor de 3 mg/L foi escolhido basicamente, levando-se em consideração a Tabela 1, que considera como alto o risco de entupimento as águas com teor de ferro total acima de 1,5 mg/L e também devido a análises realizadas em amostras de água da Região do Alto Paranaíba- (Minas Gerais), em que valores próximos a 3 mg/L de ferro total foram encontrados, sendo que nessa região existem produtores agrícolas utilizando esse tipo de água nas irrigações de suas lavouras. A utilização de uma água dessa qualidade neste estudo representa, então, uma situação que infelizmente ocorre no campo.

#### 3.3.4.1 Princípio do Método

- ◆ Pela adição do Permanganato de Potássio, todo  $\text{Fe}^{2+}$  é oxidado para  $\text{Fe}^{3+}$ ;

- ◆ Posteriormente, com adição de Tiocianato de Potássio, todo  $\text{Fe}^{3+}$  produzido e existente é determinado colorimetricamente por comparação com padrões preparados (DMAE, 1996).

Como as concentrações de ferro total na água bruta foram sempre inferiores a 3,0 mg/L, adicionou-se o complemento pelos seguintes cálculos químicos:

**Produto utilizado:**

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Sulfato Ferroso Heptahidratado)

Dados Químicos : Massa Molecular: 277,92 g/mol

Teor de Pureza: 90% (Produto de uso laboratorial)

**Exemplo de cálculo do ferro a ser adicionado (primeira irrigação):**

O teor de ferro total no primeiro dia foi de 0,5 mg/L ,então, tem-se:

Fe original= 0,50 mg/L

Fe desejado= 3,00 mg/L

Fe complementar= 2,5 mg/L=  $2,5 \times 10^{-3}$  g/L

Fe peso atômico= 55,85

$$A = \frac{(2,5 \times 10^{-3} \text{ g/L}) \times (277,92 \text{ g/mol})}{55,85 \text{ g/mol}} = 0,01244 \text{ g/L de } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}.$$

Considerando-se o reservatório de 1000 L, tem-se:

$$B = \frac{(0,01244 \text{ g}) \times (1000 \text{ L})}{1 \text{ L}} = 12,44 \text{ g de } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O para } 1000 \text{ L}$$

Ao invés de se adicionar o sal na forma sólida dentro do reservatório de 1000 L, preparou-se uma solução prévia de 1 litro para facilitar a

homogeneização, levando-se em conta também o teor de pureza do produto comercial.

Tem-se, então, que :

$$C = \frac{12,44 \times 100}{90} = 13,82 \text{ g/L}$$

#### Preparo da solução:

- ◆ Pesaram-se 13,82 g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  comercial;
- ◆ Diluíram-se em 1 L de água destilada;
- ◆ Adicionaram-se no reservatório de 1000 L
- ◆ Promoveu-se homogeneização;
- ◆ No final, a água, que originalmente possuía 0,5 mg/L de Fe total, passou a ter 3,0 mg/L
- ◆ Procedia-se então à irrigação.
- ◆ A cada irrigação, eliminava-se o restante da última irrigação, renovando-se e padronizando-se novamente em 3 mg/L de ferro total.

**Observação:** As análises de ferro foram realizadas diariamente. Nos casos em que o teor de ferro na água bruta alterou, os cálculos também foram ajustados, de forma a garantir a concentração fixa em 3,0 mg/L de ferro total na solução final de irrigação.

A Tabela 1A mostra um exemplo de resultado de análise da água utilizada no experimento.

### **3.3.5 População Bacteriana**

Este é um parâmetro que pode facilitar a ocorrência de entupimento em tubos gotejadores, conforme citam Nakayama e Bucks (1986).

Não foi possível analisar este item especificamente; entretanto, estimaram-se as Unidades Formadoras de Colônias (U.F.C.), que englobam também a população de bactérias.

O nível de U.F.C ficou em torno de 180 por mL de água, conforme Tabela 1A.

#### **3.3.5.1 Procedimentos da Análise de Contagem Total de Unidades Formadoras de Colônias (U.F.C.)**

- Prepararam-se as diluições com água peptonada;
- Inoculou 1 mL / placa em duplicata;
- Usaram-se 100 ml de P.C.A.(Plate Count Agar):
  - dissolveu e esfriou até temperatura em torno de 45° C.
- Verteu o meio nas placas;
- Fizeram-se as inoculações;
- Homogeneizou-se;
- Inversão e incubação (48h /37°C).

#### **3.3.6 Método de Aplicação de Ácido como Agente Desincrustante à Sobrepressão**

Adotou-se a metodologia sugerida por Meyer (1985) e Pizarro Cabello (1996) já descrita no item 2.6 :

### 3.3.6.1 Procedimentos:

- ◆ Preparou-se um volume de 1000 L de água enriquecida com ferro (3,0 mg/L);
- ◆ Adicionou-se HCl (Ácido Clorídrico) até rebaixar o pH da mistura para 2;
- ◆ Removeram-se as válvulas reguladoras de pressão das linhas;
- ◆ Ligou-se o sistema, colocando numa pressão de 9,81 kPa;
- ◆ Quando constatou-se a saída de água acidificada pelos emissores de número 25, desligou-se o bombeamento por uma hora;
- ◆ Posteriormente, colocou-se o sistema para funcionar a 137,34 kPa (dobro da pressão adotada no experimento);
- ◆ Após a limpeza do interior dos tubos gotejadores, fechou-se o tampão no final das linhas e deixou-se funcionando nessas condições por 15 minutos para promover a limpeza dos emissores;
- ◆ Na seqüência, foram realizadas duas coletas para se comprovar a eficiência do procedimento: uma com 380 e outra com 392 horas de irrigação.

Aplicou-se o teste de  $t$  (Stevenson, 1981) para os valores de Vazão Média (L/h) e Vazão Relativa- V.R.(%), para 375 e 380 horas acumuladas de irrigação, procurando-se, com isso, observar se os valores ocorridos antes e depois da aplicação de ácido à sobrepressão foram ou não estatisticamente diferentes.

### 3.3.7 Metodologia de Avaliação da Irrigação

#### 3.3.7.1 Vazão Média

A vazão média dos 25 emissores de cada tubo gotejador coletada semanalmente por 5 minutos, durante o período de irrigação, foi calculada pela equação:

$$\bar{Q} = \left( \frac{[(A+T) - T \times 1 \text{ g/cm}^3 \times 0,012]}{25} \right) \quad (12)$$

em que se consideraram-se A como o valor da amostra (em g) e T como a tara (em g); a Massa Específica da Água igual a 1 g/cm<sup>3</sup>; o fator 0,012 para transformar o volume coletado em 5 minutos para vazão em L/h e 25 que corresponde aos vinte e cinco emissores de cada modelo.

#### 3.3.7.2 Volume Médio

O volume médio foi obtido pelo uso da seguinte Equação:

$$VM = \left( \frac{\sum_{i=1}^{25} [(A+T) - (T)]}{25} \right) \quad (13)$$

em que :

VM: Volume Médio(ml)

(A+T) - ( T) : Volume Médio de um emissor

i: n° do emissor

### 3.3.7.3 Coeficiente de Variação de Vazão(C.V.Q.)

Para a obtenção do C.V.Q., utilizou-se a Equação 7 já apresentada e que foi definida para o C.V.F. (Coeficiente de Variação de Fabricação) :

### 3.3.7.4 Uniformidade de Distribuição/Emissão

A uniformidade de Distribuição/Emissão foi calculada pelo uso da Equação 6 (apresentada anteriormente):

Os valores de vazões foram obtidos por meio de planilha eletrônica seguindo o seguinte roteiro:

- ◆ Após o cálculo das vazões aplicadas por cada emissor, colocaram-se em ordem crescente esses valores, utilizando-se a Equação 6;
- ◆ Para cada coleta de água realizada, obteve-se um valor de U.E. (U.D) de cada modelo de tubo gotejador;

### 3.3.7.5 Vazão Relativa (V.R.)

A Vazão Relativa foi calculada da seguinte forma:

$$VR = \frac{Q_{x,y}}{Q_i} \quad (14)$$

em que :

Q x,y: Vazão de um emissor X num dia Y de irrigação;

Q<sub>i</sub>: Vazão desse emissor no primeiro dia de irrigação.

Para esses cálculos, aplicou-se a Equação 14 em planilhas eletrônicas.

Finalmente, foram confeccionados os gráficos de Vazão Relativa para cada modelo de tubo gotejador.

### **3.3.7.6 Temperatura do Ar e da Água**

As temperaturas do ar foram coletadas todos os dias em que ocorriam irrigações (Figura 1A), através de um termohigrômetro. Já as temperaturas da água foram medidas através de um termômetro inserido no eletrodo do peagâmetro utilizado.

### **3.3.7.7 pH da Água Enriquecida com Sais de Ferro**

O pH foi medido com o auxílio de um peagâmetro digital. Essas medições eram realizadas momentos antes de se iniciar a irrigação e após a homogeneização do volume de água a ser usado.

### **3.3.7.8 Análises de Sólidos**

Procedeu-se a um monitoramento semanal do teor de Sólidos Totais, Suspensos e Dissolvidos da água após a adição do sal ferroso, pois sabe-se que esse parâmetro é de grande importância no que diz respeito ao entupimento de tubos gotejadores, conforme relatam Nakayama e Bucks (1986), cuja reprodução consta da Tabela 1 apresentada no item 2.3 deste trabalho.

As metodologias utilizadas para tal fim foram adaptadas de APHA, AWWA e WPCF (1989):

### 3.3.7.8.1 Sólidos Totais (S.T.)

#### 3.3.7.8.1.1 Procedimentos

- ◆ Deixam-se os cadinhos de porcelana na estufa de secagem a 105° C por 24h.
- ◆ Após esse período coloca-se no dessecador por 15 minutos;
- ◆ Pesa-se ( $P_1$  em gramas ).
- ◆ Coloca-se a alíquota escolhida da amostra e a leva para a estufa de secagem a mesma temperatura e tempo acima mencionados.
- ◆ Após esse período, deixa-se no dessecador por 15 minutos;
- ◆ Pesa-se( $P_2$  em gramas).
- ◆ Calcula-se S.T.=  $\left( \frac{[P_2 - P_1]}{V} \times 10^6 \right)$  (15)

em que:

S.T.: mg/L

$P_2$ : Peso do cadinho + amostra após a secagem de 24 horas a 105°C (g)

$P_1$ : Peso do cadinho vazio após a secagem de 24 horas a 105°C (g)

V: Alíquota de amostra usada (mL)

#### 3.3.7.8.2 Sólidos em Suspensão (S.S.)

Os sólidos suspensos ou residuo não-filtrável é a parte do residuo total que não passa por um filtro de fibra de vidro que retém partículas de diâmetro de 1,2mm ou maiores.

### 3.3.7.8.2.1 Procedimentos

Idem ao de sólidos totais, sendo que se usa papel de filtro em vez de cadinhos de porcelana.

$$\diamond \text{ Calcula-se S.S. (mg/L)} = \left( \frac{[P_2 - P_1]}{V} \times 10^6 \right) \quad (16)$$

em que:

S.S.: mg/L

P<sub>2</sub>: Peso do papel + amostra após a secagem de 24 horas a 105°C (g)

P<sub>1</sub>: Peso do papel após a secagem de 24 horas a 105°C (g)

V: Aliquota de amostra usada (mL)

### 3.3.7.8.3 Sólidos Dissolvidos (S.D.)

$$\diamond \text{ Calcula-se S.D. (mg/L)} = \text{S.T.} - \text{S.S.} \quad (17)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Vazão Média

Pode-se observar pela Tabela 5 e Figura 4 que os precipitados químicos de ferro provocaram uma redução da vazão média em todos os cinco modelos de tubos gotejadores utilizados nos testes, concordando com Nakayama e Bucks (1986), Hernandez e Petinari (1998) e Alpha Water Systems Incorporation (1999).

**TABELA 5.** Vazão Média (L/h) obtida em cada modelo de tubo gotejador em função do tempo de funcionamento.

HORAS	MODELOS DE TUBOS GOTEJADORES				
	R	Q	C	Ne	Na
3	1,14	0,52	0,76	0,85	1,44
6	1,08	0,49	0,73	1,05	1,62
11	1,03	0,54	0,71	1,02	1,67
18	0,79	0,47	0,54	0,76	1,39
32	0,26	0,38	0,44	0,84	1,40
39	0,14	0,29	0,39	0,79	1,31
56	0,24	0,15	0,32	0,71	1,15
77	0,19	0,11	0,17	0,71	0,99
81	0,19	0,17	0,19	0,75	1,04
96	0,24	0,21	0,23	0,77	0,99
118	0,10	0,07	0,21	0,67	0,71
176	0,13	0,16	0,15	0,65	0,81
191	0,21	0,14	0,27	0,67	0,98
225	0,08	0,15	0,22	0,64	0,97
235	0,20	0,18	0,34	0,60	1,12
256	0,12	0,15	0,20	0,67	1,10
312	0,13	0,10	0,18	0,55	0,86
372	0,03	0,08	0,11	0,44	0,82
375	0,03	0,07	0,10	0,43	0,80

...continua...

TABELA 5, Cont.

APLICAÇÃO DE ÁCIDO					
380	0,24	0,09	0,15	0,79	0,89
392	0,20	0,07	0,14	0,74	0,85

em que :

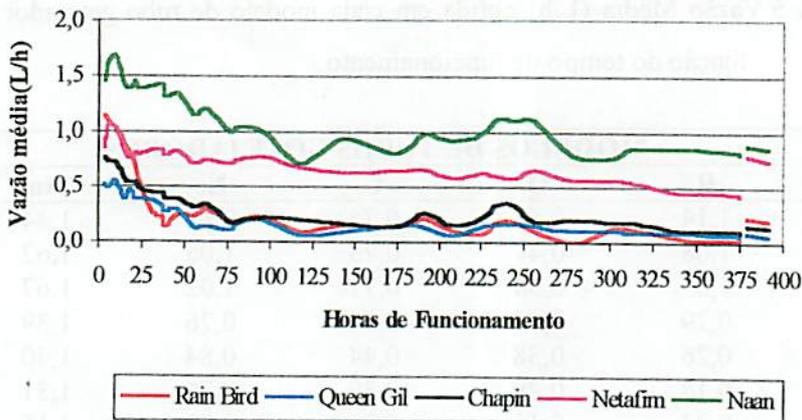
C: Chapin

Na: Naan

Ne: Netafim

Q: Queen Gil

R: Rain Bird



**FIGURA 4.** Comportamento da Vazão Média dos tubos gotejadores em função do tempo de funcionamento.

Essa redução apresentou um comportamento diferenciado para cada modelo de tubo gotejador, concordando com o observado por Moraes (1984), ou seja, as características construtivas são diferentes em cada um e a intensidade de entupimento se mostrou de forma heterogênea também.

Pela Tabela 5, constata-se que o modelo Naan iniciou os trabalhos com uma vazão de 1,44 L/h e no final (375h) a vazão ficou reduzida para 0,80 L/h, representando uma redução média de 46%. Houve algumas oscilações importantes de vazão ao longo dos testes entre 6-11 horas, 81 e 312 horas de irrigação, correspondendo provavelmente a alterações de temperatura da água.

O modelo Netafim apresentou uma redução média de vazão de 34%, apresentando basicamente uma oscilação importante logo no início dos testes (entre 3 e 32 horas).

O Chapin teve uma queda média de vazão de 74%, exibindo oscilações importantes em torno das 96,191 e 235 horas de funcionamento.

Os modelos da Rain Bird e Queen Gil apresentaram as maiores reduções percentuais de vazão média (87 e 80%, respectivamente), provavelmente pelas semelhanças nos aspectos construtivos (Labirintos), concordando com Pizarro Cabello (1996).

O tubo gotejador da Rain Bird mostrou uma redução brusca na vazão média nas primeiras 39 horas de funcionamento, caindo de 1,14 L/h para 0,14 L/h, apresentando, com isso, maior susceptibilidade ao entupimento.

#### **4.1.1 Aplicação de ácido à sobrepressão afetando a Vazão Média**

Pela Figura 4 e Tabela 5 verifica-se um aumento da Vazão Média (em função do tratamento usado) nos cinco modelos de tubos gotejadores usados.

Sendo os aumentos os seguintes:

- ◆ Chapin, de 0,10 para 0,15 L/h
- ◆ Naan, de 0,80 para 0,89 L/h
- ◆ Netafim, de 0,43 para 0,79 L/h
- ◆ Queen Gil, de 0,07 para 0,09 L/h
- ◆ Rain Bird, de 0,03 para 0,24 L/h

Para o modelo Netafim procedeu-se ao teste de t (Tabela 8A):

Como  $t_c > t_{tab}$ . rejeita-se  $H_0$ , ou seja, as duas médias de vazões são diferentes, concluindo-se que houve diferenças significativas de vazão para esse modelo quando se aplicou ácido à sobrepressão.

Os outros modelos de tubos gotejadores apresentaram algum incremento de vazão, mas as suas uniformidades de distribuição/emissão mostraram-se ruins após a aplicação do ácido, não se justificando a realização do teste de médias.

#### **4.2 Coeficiente de Variação de Vazão (C.V.Q.)**

No presente trabalho, os precipitados de ferro afetaram de forma diferenciada os emissores de um mesmo modelo, ou seja, a intensidade de entupimento não foi igual em cada emissor.

As precipitações iam ocorrendo de forma aleatória dentro do tubo gotejador, onde, dos 25 emissores, alguns recebiam mais precipitados que outros, propiciando uma resposta diferenciada que se refletia na vazão. Alguns fatores, como variação de velocidade da água e variação de pressão dentro do tubo gotejador, poderiam estar contribuindo para tal ocorrência, sem levar em conta também a própria variação de vazão intrínseca de cada emissor (C.V.F.)

No início dos testes, o C.V.F. mostrou-se inferior a 6% em todos os modelos de tubos gotejadores, (exceto o Queen Gil, que mostrou um valor de 14,39%) podendo ser classificados como bons e o Queen Gil como Médio, conforme sugerem Solomom (1979), Hillel (1982) e ASAE (1994), sendo que no final dos trabalhos o C.V.Q. máximo encontrado foi de 247,17% no modelo Rain Bird, conforme constata-se na Tabela 6.

**TABELA 6. Coeficiente de Variação de Vazão (C.V.Q.) de cada modelo de tubo gotejador, em função do tempo de funcionamento.**

<b>MODELOS DE TUBOS GOTEJADORES</b>					
<b>HORAS</b>	<b>R</b>	<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>Ne</b>	<b>Na</b>
3	3,06	14,32	2,14	3,82	1,92
6	4,23	7,24	2,20	3,70	2,84
11	5,37	9,36	2,31	3,66	2,61
18	22,11	52,90	5,87	31,20	1,89
24	44,91	25,31	12,61	21,08	2,39
32	81,80	34,00	29,38	21,35	3,78
39	119,99	47,03	52,60	21,55	7,49
56	93,17	136,23	72,12	21,67	10,10
77	106,76	147,31	120,65	23,73	25,24
81	114,57	117,62	126,18	23,74	30,49
96	90,22	83,20	103,74	22,22	45,87
118	109,84	153,93	112,49	24,16	79,38
176	113,02	112,72	129,76	32,38	74,46
191	98,59	128,87	75,47	26,60	52,08
225	167,94	117,58	104,17	28,78	47,00
235	89,46	96,36	67,21	45,91	30,44
256	80,17	116,73	112,61	38,97	24,49
303	96,67	116,91	113,20	30,16	67,11
312	105,26	124,70	116,56	30,47	48,30
372	227,65	166,93	196,63	39,35	49,96
375	247,17	182,21	200,51	40,27	50,70
<b>APLICAÇÃO DE ÁCIDO</b>					
380	99,16	152,35	151,53	10,91	54,69
392	124,21	210,69	162,89	24,73	60,99

em que :

C: Chapin

Na: Naan

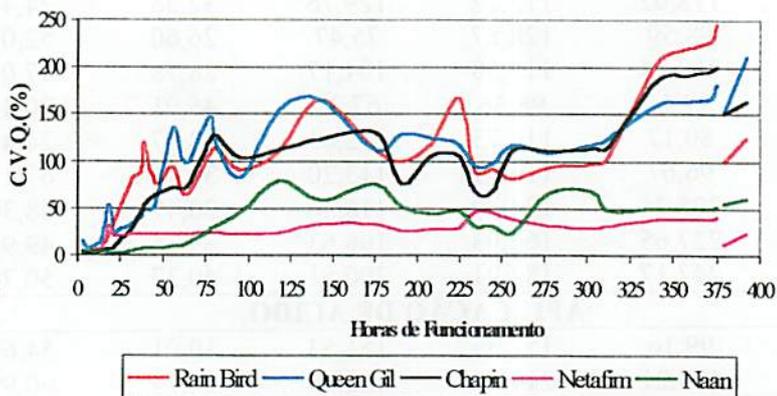
Ne: Netafim

Q: Queen Gil

R: Rain Bird

Pode-se constatar pela Figura 4 que as precipitações químicas de ferro reduziram intensamente a vazão dos tubos gotejadores, em conformidade com Moraes (1984), e que essas precipitações ocorreram de forma gradual, conforme Ayers e Westcot (1991) e Leite (1995) observaram para compostos calcários.

Pela Tabela 6 e Figura 5 observa-se também que houve oscilações do C.V.Q. em todos os modelos estudados, em que aqueles que tiveram uma tendência de aumento mais uniforme no C.V.Q. foram o Netafim e o Naan. Modelos como Queen Gil, Rain Bird e o Chapin tiveram um comportamento inconstante (maior número de oscilações ao longo dos dias de testes), causado, provavelmente, por desobstruções aleatórias de emissores, conforme constatado também por Leite (1995).



**FIGURA 5.** Comportamento do Coeficiente de Variação de Vazão(C.V.Q.) da linha de irrigação em função do tempo de funcionamento.

No final dos testes (antes da aplicação do ácido clorídrico), observou-se um C.V.Q. médio de 200,51; 50,70; 40,27 ; 182,21; 247,17% para os modelos Chapin, Naan, Netafim, Queen Gil, Rain Bird , respectivamente.

#### **4.2.1 Aplicação de ácido à sobrepressão afetando o Coeficiente de Variação de Vazão(C.V.Q.)**

Pela Tabela 6 verifica-se uma redução do C.V.Q. em quatro dos cinco modelos de tubos gotejadores usados.

Sendo as seguintes as reduções:

- ◆ Chapin, de 200,51 para 151,53%
- ◆ Netafim, de 40,27 para 10,91 %
- ◆ Queen Gil, de 182,21 para 152,35 %
- ◆ Rain Bird, de 247,17 para 99,16%

Entretanto, no modelo Naan, houve um ligeiro aumento do C.V.Q. de 50,70 para 54,69%, em virtude, provavelmente, da deposição de compostos de ferro nos emissores, o que provocou a diminuição de vazão em alguns, ocorrendo aumento em outros, como pode ser comprovado pelos dados obtidos de vazão média (Tabela 5).

#### **4.3 Uniformidade de Distribuição/ Emissão (U.D./U.E.)**

Pela Tabela 7 pode-se verificar que os tubos gotejadores, no início dos trabalhos, apresentaram UD na faixa de 82,49 a 97,48%, valores que se enquadram na classificação da ASAE (1994). Os valores encontrados foram de 97,48%; 97,20%; 96,80%; 94,89%, 82,49%, representando os modelos Naan, Chapin, Rain Bird, Netafim e Queen Gil, respectivamente.

**TABELA 7. Uniformidade de Distribuição/Emissão(%) de cada modelo de tubo gotejador, em função do tempo de funcionamento.**

<b>HORAS</b>	<b>MODELO DE TUBO GOTEJADOR</b>				
	<b>R</b>	<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>Ne</b>	<b>Na</b>
3	96,80	82,49	97,20	94,89	97,48
6	94,14	91,78	97,22	95,15	96,00
11	92,36	88,26	97,06	95,53	96,40
18	75,00	63,75	91,52	81,88	97,63
24	33,15	66,86	84,61	81,68	97,01
32	14,86	54,91	54,36	80,69	95,25
39	62,81	34,97	22,84	80,48	90,69
56	9,50	8,60	8,49	78,73	87,92
77	4,40	2,38	11,89	73,70	67,49
81	0,34	5,09	5,01	73,13	61,03
96	25,07	15,61	52,22	77,48	38,32
118	6,03	0,00	2,10	71,33	10,78
176	0,49	0,00	5,03	55,32	12,94
191	4,87	0,00	17,53	66,05	21,91
225	0,00	0,00	0,83	62,63	31,20
235	8,19	0,14	22,60	29,39	56,27
256	20,52	2,47	3,49	47,79	62,58
303	8,55	3,63	0,00	59,69	15,59
312	2,56	2,19	0,00	59,41	36,18
372	0,00	0,00	0,00	46,15	33,9
375	0,00	0,00	0,00	44,84	33,08
	<b>APLICAÇÃO DE ÁCIDO</b>				
380	0,00	0,00	0,70	85,59	20,15
392	0,48	0,00	0,00	70,43	12,97

em que :

C: Chapin

Na: Naan

**Ne:** Netafim

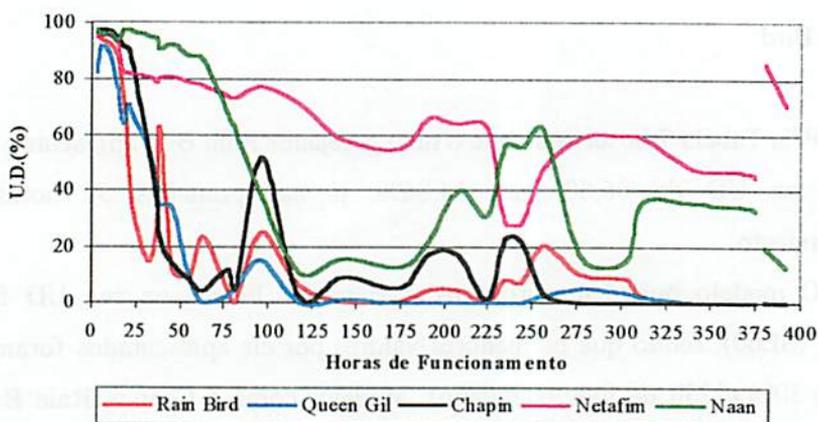
**Q:** Queen Gil

**R:** Rain Bird

Pela Tabela 7 observa-se que o tubo gotejador Rain Bird apresentou uma redução na UD de 96,80 para 14,86%, já nas primeiras 32 horas de funcionamento.

O modelo que demonstrou redução menos brusca na sua UD foi o Netafim (SL60), sendo que os menores valores por ele apresentados foram em torno de 30% (235h de funcionamento). Modelos como o Chapin, Rain Bird e Queen Gil, já quase no final dos testes (em torno de 372h), apresentavam valores nulos de UD.

Houve um comportamento variável dos cinco modelos de tubos gotejadores, em que podemos observar pela Tabela 7 aumentos de U.D., contrariando uma tendência de queda, como, por exemplo: Rain Bird, Chapin, Netafim e Queen Gil entre 81 e 96 horas de irrigação (entre outros intervalos) e Naan entre 118 e 256 horas.



**FIGURA 6.** Comportamento de Uniformidade de Distribuição/Emissão da linha de irrigação em função do tempo de funcionamento.

Isso ocorreu por causa de desobstruções que ocorriam espontaneamente em alguns emissores dos diferentes modelos, provavelmente em virtude de alguma sobrepessão no sistema, o que aumentava o  $q_{25}$ , proporcionando um incremento na U.D., concordando com Leite (1995).

Finalmente, verificou-se que todos os modelos de tubos gotejadores foram afetados em suas uniformidades de distribuição, numa intensidade diferenciada, é verdade, mas chegando a níveis inadequados para utilização na irrigação por gotejamento.

### 4.3.1 Aplicação de ácido à sobrepressão afetando a Uniformidade de Distribuição/Emissão (U.D./U.E.)

Quanto à Uniformidade de Distribuição (U.D.), pode-se verificar pelas Tabelas 7 e 8 que os modelos Rain Bird e Queen Gil apresentaram o  $q_{25}$  (correspondendo a 25% de 25 emissores = 6) nulo após a aplicação do ácido clorídrico (pois continuaram com 6 emissores totalmente obstruídos) não havendo alteração nos valores de U.D., ou seja, permaneceram em zero. Observa-se pela Tabela 8 que a aplicação da sobrepressão com ácido conseguiu reduzir o número de emissores totalmente obstruídos, mas não o suficiente para refletir na Uniformidade de Distribuição- Chapin, Rain Bird e Queen Gil (Tabela 7).

**Netafim** : Aumentou de 44,84 (antes da aplicação do ácido) para 85,59% (depois da aplicação) .

**Naan**: Caiu de 33,08 (antes da aplicação do ácido) para 20,15% (depois da aplicação). O método não surtiu o efeito desejado neste caso, provavelmente por ter ocorrido deposição de compostos de ferro nos emissores do modelo em questão.

**TABELA 8.** Número de emissores totalmente obstruídos antes e depois da aplicação do ácido clorídrico como agente desincrustante.

<b>MODELO</b>	<b>ANTES</b>	<b>DEPOIS</b>
Chapin	8	4
Netafim	1	1
Naan	2	1
Queen Gil	14	12
Rain Bird	17	6

em que :

Modelo: Modelo de tubo gotejador

Antes: número de emissores totalmente obstruídos antes da aplicação do ácido (375h acumuladas de irrigação).

Depois : número de emissores totalmente obstruídos após a aplicação do ácido (380h acumuladas de irrigação).

Observou-se, entretanto, que a aplicação de ácido à sobrepressão proporcionou o desentupimento de alguns emissores que estavam completamente obstruídos, contrariando Pizarro Cabello (1996), que afirma que o método só é recomendado para o desentupimento de emissores parcialmente obstruídos.

#### 4.4 Vazão Relativa(V.R.)

Pela Tabela 9 e da Figura 7 observa-se uma clara tendência de redução da vazão relativa em todos os modelos de tubos gotejadores utilizados no estudo.

**TABELA 9 . Vazão Relativa- V.R.(%) média dos emissores de cada modelo de tubo gotejador usado ao longo dos dias de testes em função das horas acumuladas de funcionamento.**

HORAS	MODELOS DE TUBOS GOTEJADORES				
	R	Q	C	Ne	Na
3	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
6	94,88	94,92	96,36	123,15	111,58
11	90,14	104,49	93,76	119,68	115,46
18	69,28	89,32	71,45	89,02	95,67

...continua...

TABELA 9, Cont.

24	49,68	74,05	65,32	91,38	95,42
32	22,86	73,23	58,69	98,24	96,72
39	12,42	55,64	52,00	92,64	90,25
56	20,91	27,85	42,61	83,37	79,65
77	16,88	21,17	22,80	83,28	68,14
81	16,34	31,97	25,40	87,42	71,94
96	21,38	39,78	29,85	90,39	68,64
118	8,43	13,52	27,87	78,88	48,78
176	11,75	31,24	19,68	76,12	55,69
191	18,80	26,26	35,92	78,24	67,35
225	6,97	28,63	28,74	74,56	67,05
235	17,22	34,43	45,43	70,22	77,06
256	10,08	29,19	25,78	78,29	75,90
303	12,67	20,12	25,32	66,39	53,57
312	11,48	18,47	24,33	65,01	59,11
372	2,71	15,55	14,09	51,63	56,60
375	2,39	13,56	13,27	49,81	55,09
<b>APLICAÇÃO DE ÁCIDO</b>					
380	21,02	16,76	20,20	92,21	61,12
392	17,84	13,16	18,55	86,92	58,59

em que :

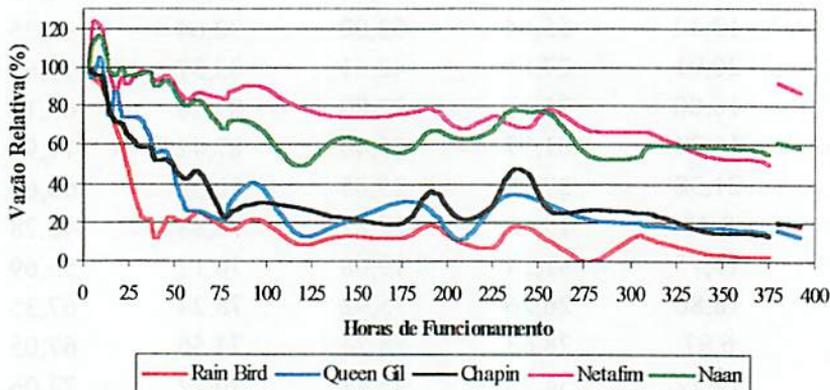
C: Chapin

Na: Naan

Ne: Netafim

Q: Queen Gil

R: Rain Bird



**FIGURA 7.** Comportamento da Vazão Relativa- V.R.(%) dos cinco modelos de tubos gotejadores utilizados no experimento em função das horas acumuladas de funcionamento.

O modelo da Rain Bird apresentou uma queda na V.R. de 100 para 12,42% nas primeiras 39 horas de irrigação. A partir daí, houve oscilações até o final dos testes, quando apresentou um valor ao redor de 2% para V.R. (375h).

Já o modelo da Queen Gil mostrou duas oscilações de V.R. no início dos testes (primeiras 18 horas), e mais três aproximadamente na metade do experimento.

O Chapin teve um comportamento semelhante ao da Rain Bird nas primeiras 77h de teste, ou seja, uma queda mais brusca na V.R., apresentando a partir daí, três oscilações até o final dos testes.

Houve basicamente quatro momentos de oscilação de V.R. para o Netafim, sendo o mais intenso no início dos testes (primeiras 11 horas), em que a V.R. foi de 100 para 123,15 e depois para 119,68%.

O tubo gotejador Naan teve uma oscilação nas primeiras 11 horas de irrigação, com o seguinte resultado: V.R. variando de 100 para 111,58 e 115,46%. E mais algumas entre 118 e 256 horas de funcionamento.

A maior parte dessas oscilações constatadas ocorreu em virtude, provavelmente, de desobstruções aleatórias que ocorriam pelo efeito de alguma eventual sobrepressão no sistema e de uma influência mais acentuada da variação de temperatura na vazão (alteração da viscosidade da água), concordando com Leite (1995).

#### 4.4.1 Análise de Regressão

##### 4.4.1.1 Naan

- Equação linear

$$y = -1,6115x + 103,97 \quad R^2 = 0,7451$$

Podendo-se dizer que a cada 100 horas de funcionamento do sistema de irrigação espera-se um decréscimo na Vazão Relativa da ordem de 161,15% em consequência de problemas de entupimento.

##### 4.4.1.2 Netafim

- Equação linear

$$y = -1,3668x + 105,87 \quad R^2 = 0,6218$$

Podendo-se dizer que a cada 100 horas de funcionamento do sistema de irrigação espera-se um decréscimo na Vazão Relativa da ordem de 136,68%, em consequência dos problemas de entupimento.

#### 4.4.1.3 Chapin

- Equação linear

$$y = -0,1438x + 64,663 \quad R^2 = 0,5986$$

- Equação Potencial

$$y = 210,97 x^{-0,4004} \quad R^2 = 0,8031$$

#### 4.4.1.4 Queen Gil

- Equação linear

$$y = -0,1625x + 67,293 \quad R^2 = 0,5870$$

- Equação logarítmica

$$y = -19,909 \ln(x) + 130,52 \quad R^2 = 0,8536$$

#### 4.4.1.5 Rain Bird

- Equação linear

$$y = -0,1354x + 48,815 \quad R^2 = 0,4213$$

- Equação logarítmica

$$y = -18,742 \ln(x) + 111,2 \quad R^2 = 0,7827$$

em que:

$y =$  Vazão Relativa- V.R.(%)

$x =$  N° de horas acumuladas de irrigação

Como se pode observar (pelo coeficiente de determinação- $R^2$ ), os modelos Chapin, Queen Gil e Rain Bird não apresentaram bons ajustes lineares, não sendo muito prudente para os mesmos uma interpretação de suas equações lineares.

#### 4.4.2 Aplicação de ácido à sobrepressão afetando a Vazão Relativa

Quanto à Vazão Relativa- V.R., pode-se observar pela Tabela 9 e pela Figura 7 que houve um aumento desse coeficiente em todos os modelos, o que já era de se esperar, tendo em vista o aumento da vazão média aplicada em cada tubo gotejador.

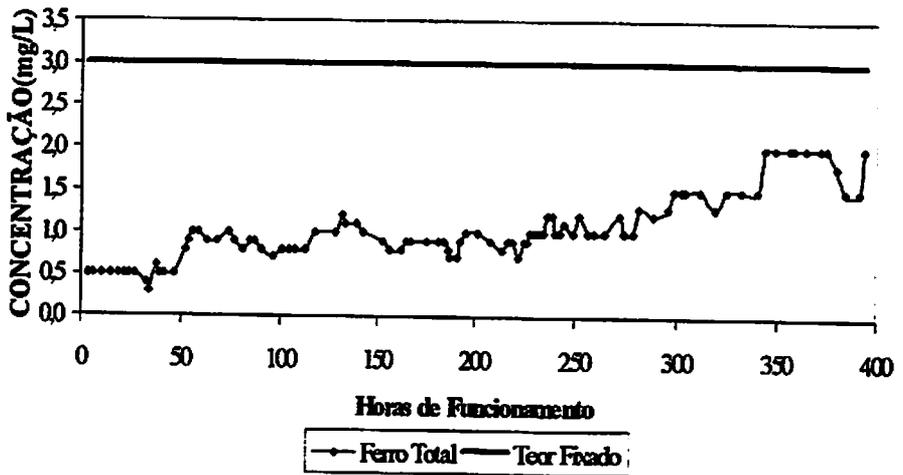
Pelo teste de t (Tabela 9A), como  $t_c > t_{tab}$ , rejeita-se  $H_0$ , ou seja, os valores de Vazão Relativa do tubo gotejador Netafim, correspondentes a 375 e 380h ( 49,81 e 92,21%, respectivamente- Tabela 9) são estatisticamente diferentes, concluindo-se que o método foi bem sucedido neste caso, tendo-se em vista também que a Uniformidade de Distribuição/Emissão subiu de 44,84% (antes do ácido a sobrepressão) para 85,59% (depois), valor esse que é considerado bom para a Uniformidade de Emissão de Campo.

#### 4.5 Concentração Original de Ferro

Pela Figura 8, constata-se que houve variações no teor de ferro da água utilizada no experimento (antes da adição do  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ), concordando com Ford (1980), Hillel (1982) e Hassan (1999). Os valores oscilaram de 0,40 (início dos trabalhos) até 2,0 no final dos testes.

Essa variação é perfeitamente normal nas águas, principalmente por causa de fatores sazonais (época seca ou chuvosa), o que poderá proporcionar uma concentração ou diluição dos compostos de ferro na água.

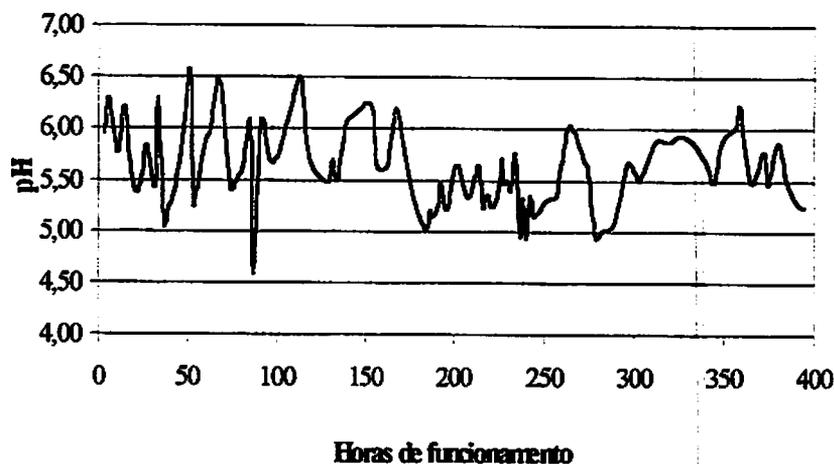
Na prática, irá ocorrer uma variação no teor de ferro, tornando-se indispensável o monitoramento constante, conforme citam Hillel (1982) e Hassan (1999).



**FIGURA 8.** Concentração original (mg/L) de ferro total na água de irrigação.

#### 4.6 pH da água aplicada

Pela Figura 9 pode-se acompanhar a flutuação do pH da água enriquecida com ferro utilizada no experimento. Os valores se encontraram principalmente na faixa de 4,50 a 6,50.



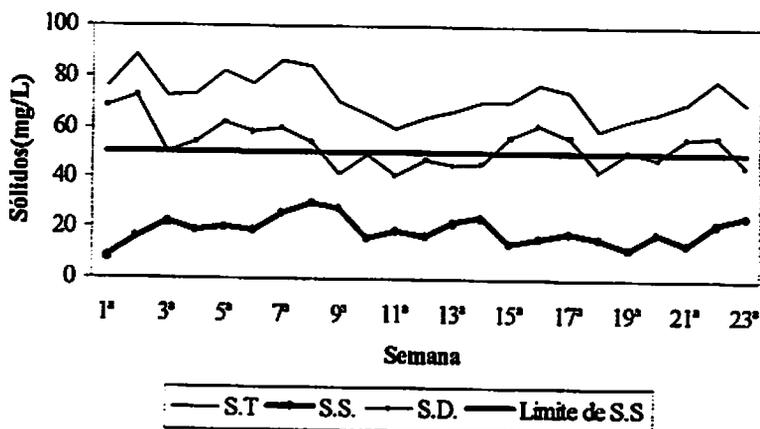
**FIGURA 9.** pH da água enriquecida com ferro ao longo das horas acumuladas de funcionamento

Trabalhos como o de Clark (1998) afirmam que nessas condições, mas com um pH em torno de 5,5, não haveria problemas de entupimento; entretanto, pode-se constatar que em grande parte do experimento o pH esteve acima desse valor (5,5), o que proporcionou uma precipitação mais efetiva dos compostos de ferro.

Os dados observados neste trabalho se contrapõe à afirmativa de Nakayama e Bucks (1986), que dizem ser mínimo o risco de entupimento em pH's menores que 7,0. Mas, verificando-se a Tabela 1A, o pH foi inferior a 7,0 com o teor de O.D. de 7,30 mg/L. Essa concentração de O.D. auxiliou na ocorrência de precipitação de ferro, o que está de acordo com Azevedo Neto (1966). Se os valores de pH fossem mais altos, a precipitação dos compostos de ferro seria ainda mais intensa.

#### 4.7 Variação do teor de Sólidos

Observa-se pela Figura 10 que os valores de sólidos em suspensão mostraram-se abaixo do limite recomendado por Nakayama e Bucks (1986)-Tabela 1, apesar de se saber da necessidade da remoção dos sólidos presentes, mesmo em baixas concentrações, conforme relatam Hillel (1982), Nakayama e Bucks (1986) e Hassan (1999) e de se ter a consciência que o item "SÓLIDOS", mesmo estando abaixo do limite máximo, pode estar interligado a outros fatores, potencializando-os a causar entupimentos, conforme citam Bucks, Nakayama e Gilbert (1979).



**FIGURA 10.** Variação semanal de Sólidos(mg/L) ao longo das irrigações.

em que:

**S.T. :** Sólidos Totais

**S.S.:** Sólidos em Suspensão

**S.D.:** Sólidos Dissolvidos

**Limite de S.S. : 50 mg/L estabelecido por Nakayama e Bucks (1986) entre outros.**

Neste experimento os teores de sólidos em suspensão podem ser considerados como bons, não representando problemas para a irrigação localizada no que diz respeito ao entupimento.

A remoção desses sólidos pode ser feita por filtração, conforme cita Hassan (1999).

#### **4.8 Aspectos Construtivos *versus* Entupimento**

Ao se proceder a uma análise do comportamento da Vazão Média de irrigação, do Coeficiente de Variação de Vazão (C.V.Q.), da Uniformidade de Distribuição/Emissão de água e das vazões relativas dos cinco tubos gotejadores utilizados no estudo, suspeita-se de que as peculiaridades construtivas de cada um foram relevantes e decisivas no desempenho constatado.

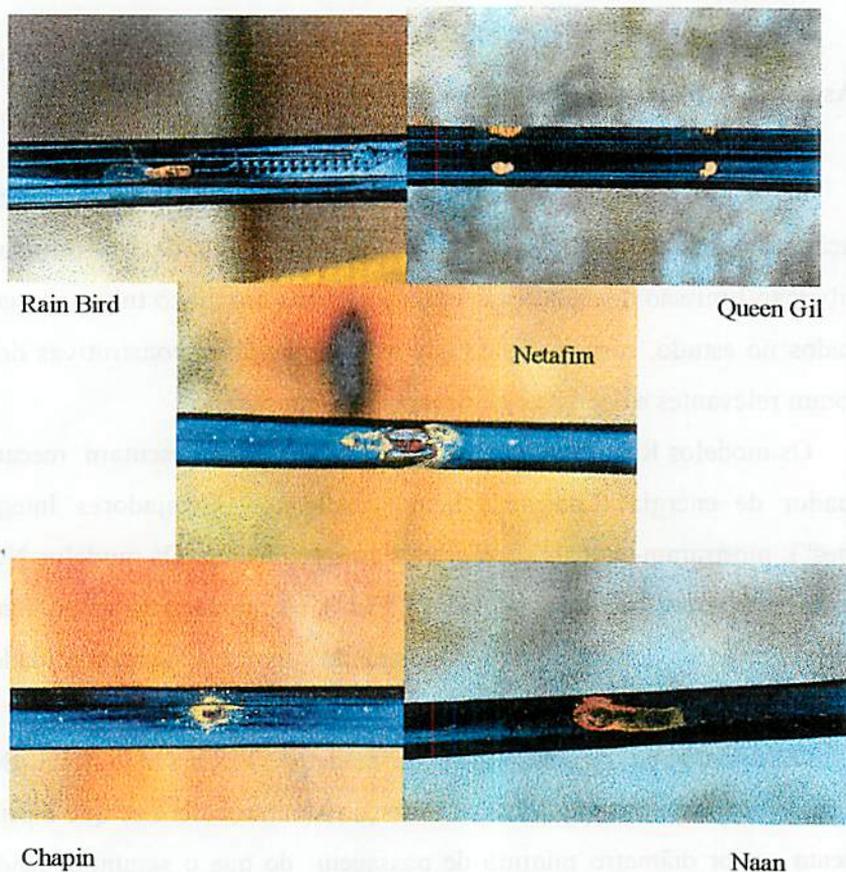
Os modelos Rain Bird, Queen Gil e Chapin, que apresentam mecanismo dissipador de energia (Labirinto) bem semelhantes- Gotejadores Integrados ("Tapes"), mostraram-se mais susceptíveis ao entupimento. Os modelos Netafim e o Naan, por serem gotejadores planos ("Flat"), têm o mecanismo diferenciado daqueles citados anteriormente, mostrando menor susceptibilidade ao entupimento.

Observando-se separadamente os modelos Queen Gil e Rain Bird, e levando-se em conta os itens Vazão e Filtração Mínima, infere-se que o primeiro apresenta maior diâmetro mínimo de passagem do que o segundo, tendo em vista que o Queen Gil exige filtros de 120 mesh (partículas de 130 microns) e o modelo da Rain Bird utilizado exige filtros de 200 mesh (partículas de 75 microns), sugerindo-se que, neste trabalho, o aspecto de "diâmetro mínimo"

mostrou-se como um fator decisivo ao entupimento, conforme relata também Pizarro Cabello (1996).

#### 4.9 Visualização dos Compostos Oxidados (Precipitados)

Pela Figura 11 pode-se observar os precipitados de ferro que ocorreram nos cinco modelos de tubos gotejadores.

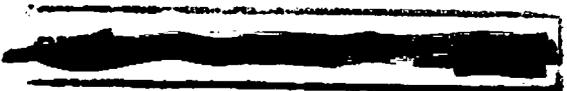


**FIGURA 11.** Visualização dos compostos oxidados nos tubos gotejadores: Rain Bird, Queen Gil, , Netafim ,Chapin e Naan.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados permitem as seguintes conclusões:

1. Dentro das condições em que ocorreu o estudo, conclui-se que o uso de águas com teor de 3 mg/L de ferro total no gotejamento, sem tratamento prévio, pode ser considerado inviável, pois ocorrerá comprometimento do desempenho dos emissores.
2. Os cinco modelos de tubos gotejadores utilizados no trabalho, na prática, não devem ser empregados dessa forma, pois sofreram intenso entupimento;
3. O aspecto construtivo parece influenciar a resistência ao entupimento, sendo os tubos gotejadores planos ("Flat") mais resistentes do que os tubos gotejadores integrados (Tapes);
4. A aplicação de ácido clorídrico, da forma como foi feita neste experimento, recupera apenas parcialmente a Vazão Relativa (V.R.) dos emissores, sendo que essa única aplicação, feita num momento de tão severo entupimento, não foi suficiente;
5. Os resultados apresentados não são passíveis de comparação, uma vez que não houve filtração adequada para alguns modelos de tubos gotejadores, nem mesmo foram utilizadas válvulas de drenagem, como é recomendado por seus fabricantes.



## 6 RECOMENDAÇÕES

Tendo-se consciência que muito ainda deve ser pesquisado no campo da qualidade de água para irrigação localizada, algumas recomendações podem ser feitas, tendo em vista futuros estudos a serem realizados.

Dentre os vários encaminhamentos que se pode dar às pesquisas, neste caso específico, recomendam-se dois:

- a) Comparação do filtro de disco, de tela e de areia para águas com vários teores de ferro, nas vazões recomendadas pelos fabricantes;
- b) No que diz respeito ao filtro de areia, estudar o tempo de detenção da água no meio filtrante (areia).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAD, J.M.T. **Qualidade da água: aspectos físicos, físico-químicos e químicos.** Belo Horizonte: UFMG, 1971. 135p.
- ALPHA WATER SYSTEMS INCORPORATION. **Water problems, water pollutants, water pollution, water impurities, bad water** [on line]. Disponível: <http://www.alphausystems.com/comprob.htm>. [Capturado em 25 mar. 1999].
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE/EP-405.1). **Standards: engineering practices.** Saint. Joseph, 1994. 819p.
- ANDRADE, L. **Cloração: para cada caso, temos que encontrar a indicação mais adequada.** [S.l.]: Scarcelli Irrigação, 1999. p. 20-21. (Informativo em gotas).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER POLLUTION CONTROL FEDERAL (WPCF). **Standard methods for examination of water and wastewater.** 17.ed. Washington, 1989. 1144p.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura.** Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.
- AZEVEDO NETO, J.M. **Tratamento de águas de abastecimento.** São Paulo: [s.n.], 1966. não paginado.
- BAR, I. **Iron control system for drip irrigation.** In: DAHLIA GREIDINGER INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FERTIGATION: TECHNION, 1995, Haifa. **Trabalhos apresentados...** Haifa: Technion-Israel Institute of Technology, 1995. p. 113-119.
- BAR, I. **Iron problems.** In: MICROIRRIGATION FORUM, 1998. **Trabalhos apresentados...** [S.l.: s.n.], 1998. [on line]. Disponível: <http://www.mif.org/ir>. [Capturado em 02 abr. 1998].
- BUCKS, D.A.; MYERS, L.E. **Uniform irrigation with low-pressure trickle systems.** *Journal of Irrigation and Drainage Division*, New York, v.98, n.3, p. 341-346, sept. 1972.

- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G.** Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.2, n.2, p. 149-162, 1979.
- CAMPOS, H.** **Estatística experimental não-paramétrica**. 3.ed. Piracicaba: Departamento de Matemática e Estatística/ESALQ/USP, 1979. 343p.
- CHRISTIANSEN, J.E.** Irrigation by sprinkling. **Bulletin. California Agricultural Experiment Station**, Berkeley, v.670, p. 1-124, 1942.
- CLARK, G.A.** Iron problems. In: **MICROIRRIGATION FORUM**, 1998. **Trabalhos apresentados...** [S.l.: s.n.], 1998. [on line]. Disponível: <http://www.mif.org/ir>. [Capturado em 02 de abr. 1998].
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA/MG).** Sistema de controle de qualidade da água média: resultados análises ferro -1995/2000. Varginha, 2000. 1p. (Tabela).
- COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A.** **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA/CNPMS, 1994. 315p.
- DEGRÉMONT.** **Manual técnico del agua**. Bilbao: Artes gráficas Grijelmo, 1979. 1217p.
- DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO (DMAE).** **Manual técnico de análises químicas**. Poços de Caldas: DMAE/Seção de Laboratório, 1996. 14p.
- DU PLESSIS, C.** Removing iron from irrigation water. In: **MICROIRRIGATION FORUM**, 1998. **Trabalhos apresentados...** [S.l.:s.n.], 1998 [on line]. Disponível: <http://www.mif.org/rem>. [Capturado em 02 de abr. 1998].
- ENGLISH, S.D.** Filtration and water treatment for micro-irrigation. In: **INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS**, 3., 1985, Fresno. **Proceedings...** Saint Joseph: ASAE, 1985. v.1, p. 50-57.
- FORD, H.W.** The importance of water quality in drip/trickle irrigation systems. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, Orlando, v.1, p. 84-87, 1977.

- FORD, H.W. The problem of dripper clogging and methods for control. In: SYMPOSIUM DRIP IRRIGATION HORTICULTURE: FOREIGN EXPERTS PARTICIPATING, 1980, Local. Proceedings... [S.l.: s.n], 1980. p. 199-206.
- HASSAN, F.A. Water quality for microirrigation. In: MICROIRRIGATION FORUM, 1999. Trabalhos apresentados... [S.l.: s.n.], 1999. [on line]. Disponível: <http://www.microirrigationforum.com>. [Capturado em 23 mar. 1999].
- HERNANDEZ, F.B.T.; PETINARI, R.A. Qualidade da água para irrigação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.2, p. 58-60.
- HILLEL, D. Advances in irrigation. New York: Academic Press, 1982. v.1, 302p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATIONS FOR STANDARDIZATION (ISO/9261). Agricultural irrigation equipment-emitting-pipe systems-specification and test methods. [S.l.], 1991. 7p.
- JAMES, L.G. Principles of farm irrigation system design. New York: John Wiley & Sons, 1988. 543p.
- KARMEI, D.; KELLER, J. Evaluation of a trickle irrigation system. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2., 1974, Riverside. Proceedings... Saint Joseph: ASAE, 1974. p. 287-292.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- KELLER, J.; KARMEI, D. Trickle irrigation design parameters. Transaction of ASAE, St. Joseph, v.17, n.4, p. 678-684, jan. 1974.
- KELLER, J.; KARMEI, D. Trickle irrigation design. California: Rain Bird Sprinkler, 1975. 133p.
- LEITE, J.A. de O. Avaliação da susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio. Lavras: UFLA, 1995. 64p. (Dissertação – Mestrado em Irrigação e Drenagem).

- MEDINA SAN JUAN, J.A. Riego por goteo. Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 256p.
- MERRIAN, J.L.; KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271p.
- MEYER, J.L. Cleaning drip irrigation systems. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno. Proceedings... Saint Joseph: ASAE, 1985. v.1, p. 41-44.
- MORAES, O. Determinação do coeficiente de variação de gotejadores e sua influência na uniformidade de emissão em linhas laterais de irrigação por gotejamento. Piracicaba: ESALQ, 1984. 192p. (Dissertação – Mestrado em Irrigação e Drenagem).
- MYERS, J.M.; HARRISON, D.S.; PHILLIPS, J.W. Soil moisture distribution in a sprinkler irrigated orange grove. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, Saint Petesburg, v.89, p. 23-28, 1976.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Trickle irrigation for crop production: design, operation and management. New York: Elsevier, 1986. 383p.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH, O.F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. Transaction of ASAE, Saint Joseph, v.20, n.2, p. 270-280, 1977.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A ; GILBERT, R.G. Water treatments in trickle irrigation system. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, p. 23-24, 1978.
- ORNSTEIN, L. Removing iron from irrigation water. In: MICROIRRIGATION FORUM, 1998. Trabalhos apresentados... [S.l.: s.n.], 1998. [on line]. Disponível: [http:// www.mif.org/rem](http://www.mif.org/rem). [Capturado em 02 de abr. 1998].
- PITTS, D. Polimaleic acid to control iron in water. In: MICROIRRIGATION FORUM, 1998. Trabalhos apresentados... [S.l.: s.n.], 1998. [on line]. Disponível: <http://www.mif.org/pr>. [Capturado em 02 de abr. 1998].
- PIZARRO CABELLO, F. Riegos localizados de alta frecuencia. 3.ed. Madrid: Mundi-prensa, 1996. 513p.

RAIN BIRD. **Low volume irrigation system maintenance: manual 5/90.** Califônia, 1990. 48p.

SCARCELLI LTDA. **Gotejamento.** [on line]. Disponível: <http://www.scarcelli/com.br>. [Capturado em 26 de nov. 1999].

SCHAKSCHOUK, A.M. Alleviation of chemical pollution resultant through water chemical treatment in trickle irrigation systems. **Egyptian Journal of Soil Science**, Cairo, v.36, p. 1-4;189-218, 1996.

SOLOMOM, K.H. Manufacturing variation of trickle emitter. **Transaction of ASAE**, St.Joseph, v.22, n.4, p. 1034-1043, July/Aug. 1979.

STEVENSON, W.J. **Estatística aplicada à administração.** São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1981. 495p.

STORLIE, C. Iron problems. In: MICROIRRIGATION FORUM, 1998. **Trabalhos apresentados...** [on line]. [S.l.: s.n.], 1998. Disponível: <http://www.mif.org/ir>. [Capturado em 02 de abr. 1998].

TARPON CONSTRUÇÕES COMÉRCIO E PARTICIPAÇÕES LTDA. **Descrição do Sea Quest.** Rio de Janeiro, 1999. não paginado. (Folheto informativo).

VIEIRA, A.T. **Caracterização hidráulica de um tubo gotejador.** Piracicaba: ESALQ, 1996. 56p. (Dissertação – Mestrado em Irrigação e Drenagem).

WU, I.P.; GITLIN, H.M. **Drip Irrigation: design in metric units.** Honolulu: University of Hawaii, 1977. 19p. (Miscelany Publication, 144).

## ANEXOS

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Resultado de uma análise da água utilizada no experimento.....	74
TABELA 2A	Concentração original (mg/L) de ferro total na água de irrigação.....	75
TABELA 3A	Teste de Kolmogorov-Smirnov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Rain Bird".....	76
TABELA 4A	Teste de Kolmogorov-Smirnov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Queen Gil".....	77
TABELA 5A	Teste de Kolmogorov-Smirnov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Chapin".....	78
TABELA 6A	Teste de Kolmogorov-Smirnov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Naan".....	79
TABELA 7A	Teste de Kolmogorov-Smirnov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Netafim".....	80
TABELA 8A	Teste de t Student para as Vazões Médias (L/h) do tubo gotejador Netafim, antes e depois da aplicação do ácido à sobrepressão.....	81
TABELA 9A	Teste de t Student para as Vazões Relativas- V.R. (%) do tubo gotejador Netafim antes e depois da aplicação do ácido à sobrepressão.....	82

<b>TABELA 10A</b>	<b>Teores médios de ferro total (mg/L) em 50 cidades do sul de Minas Gerais de 1995 a 2000.....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURA 1A</b>	<b>Varição da temperatura do ar e da água ao longo dos dias de irrigação.....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 2A</b>	<b>Volume médio (cm<sup>3</sup>) de água aplicado pelas tubos gotejadores ao longo das horas de irrigação.</b>	<b>85</b>

**TABELA 1A** .Resultado de uma análise da água utilizada no experimento.

<b>PARÂMETRO ANALISADO</b>	<b>RESULTADO</b>
Temperatura	21° C
pH	6,05
C. E.(dS/m)	0,039
Alcalinidade (mg./L em Ca CO <sub>3</sub> )	
OH <sup>-</sup>	Zero
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Zero
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	18
Cálcio(meq./L)	0,28
Cloretos(meq./L)	5,0
COLIFORMES TOTAIS(NMP/100mL)	90
COLIFORMES FECAIS(NMP/100mL)	90
CONTAGEM TOTAL(U.F.C <sup>1</sup> /100 mL)	1,8 x 10 <sup>4</sup>
D.B.O.(mg/L)	3,4
D.Q.O.(mg/L)	6,3
Dureza total(meq./L em Ca CO <sub>3</sub> )	0,4
Dureza cálcio(meq./L em Ca CO <sub>3</sub> )	0,28
Dureza magnésio(meq./L em Ca CO <sub>3</sub> )	0,12
Ferro total(mg/L)	3,0
Hidrogenossulfetos(HS <sup>-</sup> ) (mg/L)	0,0
Magnésio(meq./L)	0,12
Manganês(mg/L)	0,0
O.D.(mg/L)	7,3
Salinidade total (mg/L)	25,0

...continua...

TABELA 1A, Cont.

SÓLIDOS TOTAIS(mg/L)	76,0
SÓLIDOS SUSPENSOS(mg/L)	8,0
SÓLIDOS SUSP. SEDIMENTÁVEIS(mL/L)	0,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS(mg/L)	68,0
SULFATOS(mg/L)	13,0
Turbidez(N.T.U.)	8,5

<sup>1</sup>Unidades Formadoras de Colônias

TABELA 2A. Concentração original (mg/L) de ferro total na água de irrigação<sup>1</sup>.

HORAS DE FUNCIONAMENTO	VALOR DE FERRO ENCONTRADO	VALOR PADRONIZADO
3	0,50	3,00
11	0,50	3,00
37	0,60	3,00
63	0,90	3,00
96	0,70	3,00
134	1,10	3,00
176	0,90	3,00
202	1,00	3,00
245	1,10	3,00
278	1,00	3,00
305	1,50	3,00
333	1,50	3,00
344	2,00	3,00
349	2,00	3,00
357	2,00	3,00
365	2,00	3,00
372	2,00	3,00
375	2,00	3,00
380	1,80	3,00
385	1,50	3,00
392	1,50	3,00
394	2,00	3,00

<sup>1</sup> Apresenta apenas alguns valores de ferro.

**TABELA 3A . Teste de Kolmogorov-Smirnov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Rain Bird"**

<b>Nº ORDEM</b>	<b>X</b>	<b>F(X)</b>	<b>S(X)</b>	<b>(F(X)-S(X))</b>	<b>MOD ( F(X)-S(X))</b>	<b>D</b>
1	1,083	0,050	0,040	0,010	0,010	
2	1,089	0,070	0,080	-0,010	0,010	
3	1,094	0,089	0,120	-0,031	0,031	
4	1,099	0,115	0,160	-0,045	0,045	
5	1,108	0,174	0,200	-0,026	0,026	
6	1,117	0,246	0,240	0,006	0,006	
7	1,118	0,254	0,280	-0,026	0,026	
8	1,128	0,356	0,320	0,036	0,036	
9	1,128	0,363	0,360	0,003	0,003	
10	1,130	0,375	0,400	-0,025	0,025	
11	1,130	0,376	0,440	-0,064	0,064	
12	1,133	0,411	0,480	-0,069	0,069	
13	1,137	0,457	0,520	-0,063	0,063	
14	1,139	0,478	0,560	-0,082	0,082	
15	1,141	0,506	0,600	-0,094	0,094	0,094
16	1,146	0,565	0,640	-0,075	0,075	
17	1,151	0,613	0,680	-0,067	0,067	
18	1,152	0,629	0,720	-0,091	0,091	
19	1,159	0,700	0,760	-0,060	0,060	
20	1,163	0,741	0,800	-0,059	0,059	
21	1,177	0,853	0,840	0,013	0,013	
22	1,188	0,910	0,880	0,030	0,030	
23	1,190	0,919	0,920	-0,001	0,001	
24	1,209	0,975	0,960	0,015	0,015	
25	1,210	0,976	1,000	-0,024	0,024	
<b>DESVPD</b>	<b>0,035</b>					
<b>MÉDIA</b>	<b>1,141</b>					

**TABELA 4A. Teste de Kolmogorov-Smimov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Queen Gil"**

<b>Nº ORDEM</b>	<b>X</b>	<b>F(X)</b>	<b>S(X)</b>	<b>(F(X)-S(X))</b>	<b>MOD ( F(X)-S(X))</b>	<b>D</b>
1	0,351	0,011	0,040	-0,029	0,029	
2	0,385	0,034	0,080	-0,046	0,046	
3	0,447	0,160	0,120	0,040	0,040	
4	0,465	0,224	0,160	0,064	0,064	
5	0,466	0,229	0,200	0,029	0,029	
6	0,467	0,233	0,240	-0,007	0,007	
7	0,482	0,299	0,280	0,019	0,019	
8	0,489	0,330	0,320	0,010	0,010	
9	0,489	0,330	0,360	-0,030	0,030	
10	0,493	0,352	0,400	-0,048	0,048	
11	0,502	0,399	0,440	-0,041	0,041	
12	0,510	0,440	0,480	-0,040	0,040	
13	0,511	0,446	0,520	-0,074	0,074	
14	0,518	0,481	0,560	-0,079	0,079	
15	0,549	0,642	0,600	0,042	0,042	<b>0,098</b>
16	0,549	0,644	0,640	0,004	0,004	
17	0,556	0,677	0,680	-0,003	0,003	
18	0,557	0,681	0,720	-0,039	0,039	
19	0,565	0,722	0,760	-0,038	0,038	
20	0,585	0,802	0,800	0,002	0,002	
21	0,586	0,807	0,840	-0,033	0,033	
22	0,590	0,822	0,880	-0,058	0,058	
23	0,590	0,822	0,920	-0,098	<b>0,098</b>	
24	0,658	0,966	0,960	0,006	0,006	
25	0,676	0,981	1,000	-0,019	0,019	
<b>DESVPD</b>	<b>0,075</b>					
<b>MÉDIA</b>	<b>0,521</b>					

**TABELA 5A. Teste de Kolmogorov-Smimov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Chapin"**

<b>Nº ORDEM</b>	<b>X</b>	<b>F(X)</b>	<b>S(X)</b>	<b>(F(X)-S(X))</b>	<b>MOD ( F(X)-S(X))</b>	<b>D</b>
1	0,719	0,009	0,040	-0,031	0,031	
2	0,722	0,015	0,080	-0,065	0,065	
3	0,734	0,073	0,120	-0,047	0,047	
4	0,745	0,228	0,160	0,068	0,068	
5	0,748	0,284	0,200	0,084	<b>0,084</b>	
6	0,748	0,286	0,240	0,046	0,046	
7	0,749	0,291	0,280	0,011	0,011	
8	0,752	0,371	0,320	0,051	0,051	
9	0,753	0,388	0,360	0,028	0,028	
10	0,755	0,434	0,400	0,034	0,034	
11	0,756	0,457	0,440	0,017	0,017	
12	0,757	0,498	0,480	0,018	0,018	
13	0,759	0,538	0,520	0,018	0,018	
14	0,759	0,541	0,560	-0,019	0,019	
15	0,759	0,549	0,600	-0,051	0,051	<b>0,084</b>
16	0,761	0,583	0,640	-0,057	0,057	
17	0,762	0,617	0,680	-0,063	0,063	
18	0,769	0,770	0,720	0,050	0,050	
19	0,770	0,786	0,760	0,026	0,026	
20	0,770	0,788	0,800	-0,012	0,012	
21	0,771	0,801	0,840	-0,039	0,039	
22	0,772	0,821	0,880	-0,059	0,059	
23	0,778	0,902	0,920	-0,018	0,018	
24	0,781	0,930	0,960	-0,030	0,030	
25	0,783	0,945	1,000	-0,055	0,055	
<b>DESVPD</b>	<b>0,016</b>					
<b>MÉDIA</b>	<b>0,757</b>					

**TABELA 6A . Teste de Kolmogorov-Smirnov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Naan".**

<b>Nº</b> <b>ORDEM</b>	<b>X</b>	<b>F(X)</b>	<b>S(X)</b>	<b>(F(X)-S(X))</b>	<b>MOD</b> <b>(F(X)-S(X))</b>	<b>D</b>
1	1,368	0,002	0,040	-0,038	0,038	
2	1,408	0,066	0,080	-0,014	0,014	
3	1,413	0,098	0,120	-0,022	0,022	
4	1,425	0,195	0,160	0,035	0,035	
5	1,428	0,219	0,200	0,019	0,019	
6	1,435	0,307	0,240	0,067	0,067	
7	1,437	0,327	0,280	0,047	0,047	
8	1,439	0,353	0,320	0,033	0,033	
9	1,441	0,376	0,360	0,016	0,016	
10	1,442	0,395	0,400	-0,005	0,005	
11	1,445	0,440	0,440	0,000	0,000	
12	1,446	0,455	0,480	-0,025	0,025	
13	1,447	0,465	0,520	-0,055	0,055	
14	1,452	0,534	0,560	-0,026	0,026	
15	1,464	0,703	0,600	0,103	0,103	0,103
16	1,465	0,719	0,640	0,079	0,079	
17	1,466	0,726	0,680	0,046	0,046	
18	1,466	0,730	0,720	0,010	0,010	
19	1,469	0,760	0,760	0,000	0,000	
20	1,474	0,812	0,800	0,012	0,012	
21	1,474	0,817	0,840	-0,023	0,023	
22	1,476	0,833	0,880	-0,047	0,047	
23	1,479	0,859	0,920	-0,061	0,061	
24	1,481	0,874	0,960	-0,086	0,086	
25	1,492	0,939	1,000	-0,061	0,061	
<b>DESVPD</b>	<b>0,028</b>					
<b>MÉDIA</b>	<b>1,449</b>					

**TABELA 7A . Teste de Kolmogorov-Smirnov (Normalidade das vazões) para o tubo gotejador "Netafim".**

<b>Nº ORDEM</b>	<b>X</b>	<b>F(X)</b>	<b>S(X)</b>	<b>(F(X)-S(X))</b>	<b>MOD ( F(X)-S(X))</b>	<b>D</b>
1	0,767	0,004	0,040	-0,036	0,036	
2	0,795	0,036	0,080	-0,044	0,044	
3	0,819	0,146	0,120	0,026	0,026	
4	0,823	0,176	0,160	0,016	0,016	
5	0,826	0,198	0,200	-0,002	0,002	
6	0,829	0,226	0,240	-0,014	0,014	
7	0,837	0,312	0,280	0,032	0,032	
8	0,838	0,322	0,320	0,002	0,002	
9	0,843	0,376	0,360	0,016	0,016	
10	0,845	0,398	0,400	-0,002	0,002	
11	0,850	0,463	0,440	0,023	0,023	
12	0,858	0,558	0,480	0,078	0,078	
13	0,859	0,562	0,520	0,042	0,042	
14	0,862	0,607	0,560	0,047	0,047	
15	0,864	0,627	0,600	0,027	0,027	0,177
16	0,864	0,630	0,640	-0,010	0,010	
17	0,867	0,657	0,680	-0,023	0,023	
18	0,867	0,659	0,720	-0,061	0,061	
19	0,869	0,678	0,760	-0,082	0,082	
20	0,869	0,680	0,800	-0,120	0,120	
21	0,873	0,721	0,840	-0,119	0,119	
22	0,875	0,743	0,880	-0,137	0,137	
23	0,875	0,743	0,920	-0,177	0,177	
24	0,905	0,944	0,960	-0,016	0,016	
25	0,927	0,988	1,000	-0,012	0,012	
<b>DESVPD</b>	<b>0,033</b>					
<b>MÉDIA</b>	<b>0,853</b>					

**TABELA 8A.** Teste de t Student para as Vazões Médias (L/h) do tubo gotejador Netafim, antes e depois da aplicação do ácido à sobrepressão.

<b>Nº DO EMISSOR</b>	<b>VAZÃO ANTES DO ÁCIDO (L/h)</b>	<b>VAZÃO DEPOIS DO ÁCIDO (L/h)</b>	<b>d*</b>
1	0,00	0,54	0,54
2	0,08	0,63	0,55
3	0,17	0,69	0,52
4	0,25	0,72	0,47
5	0,32	0,73	0,41
6	0,33	0,73	0,41
7	0,37	0,73	0,37
8	0,40	0,73	0,34
9	0,41	0,78	0,37
10	0,41	0,78	0,37
11	0,43	0,79	0,36
12	0,44	0,79	0,35
13	0,45	0,80	0,35
14	0,48	0,80	0,32
15	0,49	0,81	0,31
16	0,49	0,81	0,32
17	0,50	0,82	0,33
18	0,54	0,83	0,29
19	0,58	0,83	0,25
20	0,59	0,84	0,25
21	0,59	0,84	0,25
22	0,61	0,85	0,25
23	0,64	0,87	0,24
24	0,64	0,92	0,28
25	0,65	0,94	0,29
<b><math>\bar{d}</math></b>	<b>0,351</b>		
<b>desvpad</b>	<b>0,090525</b>		
<b>tc**</b>	<b>19,3868</b>		
<b>t tab.</b>			
<b>(0,025; 24)</b>	<b>2,064</b>		

\* Vazão depois do ácido - Vazão antes do ácido (L/h)

\*\*  $\frac{\bar{d}}{S/\sqrt{n}}$ , s: desvpad = Desvio padrão; n: 25 (nº emissores)

**TABELA 9A.** Teste de t Student para as Vazões Relativas- V.R. (%) do tubo gotejador Netafim, antes e depois da aplicação do ácido à sobrepressão.

<b>Nº DO EMISSOR</b>	<b>V.R. ANTES DO ÁCIDO (%)</b>	<b>V.R. DEPOIS DO ÁCIDO (%)</b>	<b>d*</b>
1	0,00	63,50	63,50
2	8,92	73,80	64,88
3	20,26	81,30	61,05
4	29,50	85,04	55,54
5	37,46	85,49	48,03
6	38,42	86,37	47,95
7	43,41	86,37	42,96
8	46,58	86,39	39,81
9	48,04	91,19	43,15
10	48,28	92,26	43,98
11	50,77	92,71	41,94
12	51,35	92,78	41,43
13	53,52	94,43	40,91
14	56,49	94,59	38,10
15	57,90	94,84	36,95
16	58,22	95,80	37,58
17	58,51	96,87	38,36
18	63,12	97,12	34,00
19	67,87	97,19	29,32
20	69,03	98,39	29,36
21	69,06	99,05	29,99
22	71,34	100,30	28,96
23	74,82	102,75	27,93
24	75,61	108,70	33,09
25	76,66	110,36	33,71
$\bar{d}$	41,299		
desvpad	10,65		
tc	19,3892		
t tab. (0,025; 24)	2,064		

\* V.R. depois do ácido - V.R. antes do ácido (%)

**TABELA 10A. Teores médios de ferro total (mg/L) em 50 cidades do sul de Minas Gerais de 1995 a 2000.**

<b>CIDADES</b>	<b>mg/L Fe Total</b>
ALFENAS	2,24
BAEPENDI	2,63
BORDA DA MATA	2,02
BOTELHOS	2,07
BRASÓPOLIS	4,31
BUENO BRANDÃO	2,58
CABO VERDE	2,54
CAMANDUCAIA	3,19
CAMPOS GERAIS	2,74
CANA VERDE	2,38
CANDEIAS	2,16
CAREAÇÚ	3,79
CARMO CACHOEIRA	2,46
CARVALHÓPOLIS	3,44
CÁSSIA	2,90
CONC. DOS OUROS	2,67
CONC. RIO VERDE	2,35
CORDISLÂNDIA	3,84
CRISTAIS	3,31
CRUZÍLIA	2,28
EXTREMA	2,56
FORTALEZA MINAS	2,63
GUARANÉSIA	2,35
GUAXUPÉ	3,15
INCONFIDENTES	3,25
ITAJUBÁ	2,88
ITAPEVA	2,47
JACUÍ	2,36
LAVRAS	1,80
LIBERDADE	2,27
MARIA DA FÉ	3,35
MINDURI	2,01
MONSENHOR PAULO	3,72
MONTE SIÃO	2,91
MONTE STO. MINAS	2,22

...continua...

**TABELA 10 A, Cont.**

---

<b>MUZAMBINHO</b>	<b>2,98</b>
<b>NOVA REZENDE</b>	<b>2,21</b>
<b>PERDÕES</b>	<b>3,40</b>
<b>PIRANGUINHO</b>	<b>2,36</b>
<b>POUSO ALEGRE</b>	<b>2,68</b>
<b>S. BENTO ABADE</b>	<b>2,12</b>
<b>S. FRANCISCO PAULA</b>	<b>2,90</b>
<b>S. JOSÉ BARRA</b>	<b>2,72</b>
<b>S. SEBASTIÃO PARAÍSO</b>	<b>2,41</b>
<b>SANTANA VARGEM</b>	<b>2,30</b>
<b>SANTO A. AMPARO</b>	<b>2,79</b>
<b>SÃO TIAGO</b>	<b>2,75</b>
<b>ST<sup>A</sup> RITA SAPUCAÍ</b>	<b>2,33</b>
<b>TOLEDO</b>	<b>2,65</b>
<b>TRÊS CORAÇÕES</b>	<b>2,74</b>
<b>VARGINHA</b>	<b>2,21</b>

---

**Fonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais (2000).**

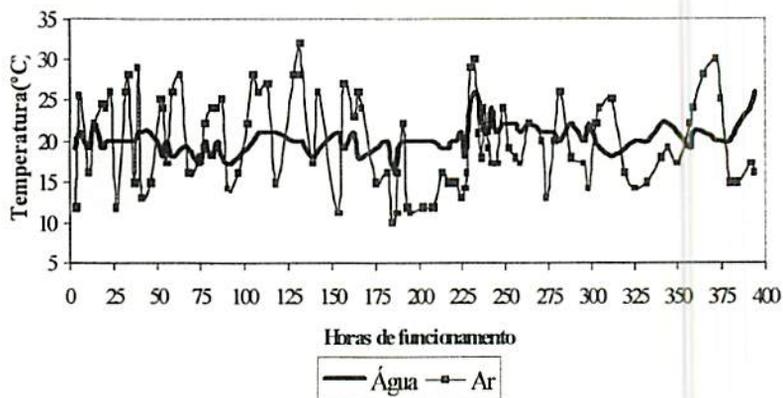


FIGURA 1A. Variação da temperatura do ar e da água ao longo das horas de irrigação.

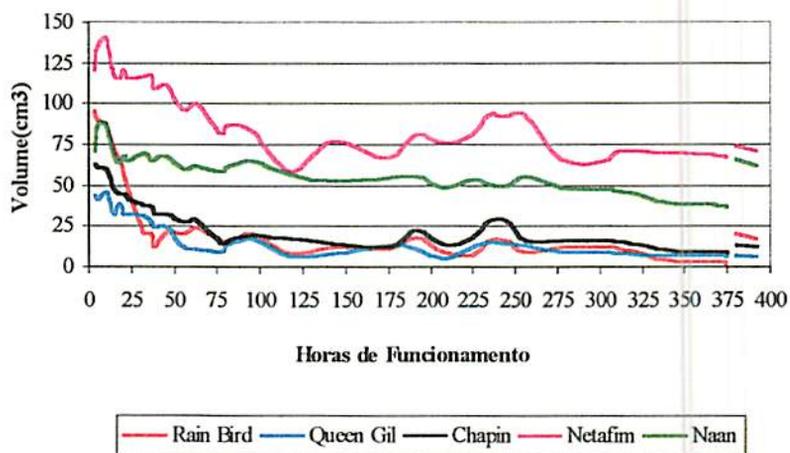


FIGURA 2A. Volume médio ( $\text{cm}^3$ ) de água aplicado pelas tubos gotejadores ao longo das horas de irrigação