

CRISTIANI CAMPOS MARTINS

**EFEITO DA CLORAÇÃO ORGÂNICA NA UNIFORMIDADE DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO UTILIZANDO ÁGUA FERRUGINOSA**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2007**

CRISTIANI CAMPOS MARTINS

**EFEITO DA CLORAÇÃO ORGÂNICA NA UNIFORMIDADE DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO UTILIZANDO ÁGUA FERRUGINOSA**

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

APROVADA: 15 de fevereiro de 2007.

**Prof. Edvaldo Fialho dos Reis
(Co-orientador)**

Prof. Brauliro Gonçalves Leal

Prof. Paulo Afonso Ferreira

Prof. Mauro Aparecido Martinez

**Prof. Antônio Alves Soares
(Orientador)**

Aos meus pais Maurilio Martins Alves e Maria das Graças Campos Martins, pelo apoio nos meus anos de estudo.

À minha irmã Rita e meu cunhado Sandro que sempre acreditaram em mim e me apoiaram nos momentos mais difíceis. Ao meu irmão Maurilio, pelo apoio e amizade.

Ao meu namorado Camilo Busato, pela ajuda, companhia e amor.

Aos meus sobrinhos, Tadeu, Maria Eliza e Letícia, pelos momentos de alegria e felicidade.

DEDICO

AGRADECIMENTO

A DEUS, por iluminar meu caminho e estar sempre presente no meu coração.

À minha família, pelo estímulo e apoio durante meus estudos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade, e a todos os funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, à Edna, Patrícia, Renato e Marcos.

Ao professor Antônio Alves Soares pela orientação e oportunidade de desenvolver este trabalho e, acima de tudo, pela amizade e paciência.

Ao professor e conselheiro Márcio Mota Ramos pelo conhecimento compartilhado e pela disposição em me ajudar.

Ao professor e conselheiro Edvaldo Fialho dos Reis um agradecimento especial pela sua colaboração e incentivo desde a minha graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos durante o período do curso.

Ao doutorando Rafael de Oliveira Batista, por ter em muito me ajudado durante meus trabalhos na Universidade.

À Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, por ter cedido a área para a condução do experimento, em especial ao Prof. Élio de Almeida Cordeiro, ao diretor Luiz Marcari Júnior, ao técnico agrícola Julieder, à D. Carmem, à Lúcia Isabel, à Fabiana, ao Prof. João Nacir Colombo, ao Edmar Gava, ao Élcio Lacerda, ao Helvécio, ao Edemeilson, ao Sr. José Faian, ao Raimundo, e a todos os funcionários e alunos que me ajudaram na execução do trabalho.

A todos os professores do Centro de Ciências Agrárias da UFES, responsáveis pela minha formação profissional e aos colegas do CCAUFES.

BIOGRAFIA

Cristiani Campos Martins, filha de Maria das Graças Campos Martins e Maurílio Martins Alves, nasceu em Muqui - ES, em 14 de março de 1980. Em 2000, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo, no Centro de Ciências Agrárias (CCA-UFES), em Alegre - ES, concluindo-o em outubro de 2004. Em fevereiro de 2005, iniciou o curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa - MG, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2007.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Vantagens e limitações do sistema de irrigação por gotejamento.....	4
2.2. Águas ferruginosas na irrigação.....	5
2.3. Entupimento em sistema de irrigação por gotejamento.....	6
2.3.1. Fatores físicos.....	8
2.3.2. Fatores químicos.....	9
2.3.3. Fatores biológicos.....	10
2.3.3.1. Ferrobactérias.....	11
2.3.4. Susceptibilidade de gotejadores ao entupimento.....	12
2.4. Medidas para minimizar o entupimento de gotejadores.....	14
2.4.1. Filtragem.....	15
2.4.2. Cloração.....	16
2.4.2.1. Utilização de derivados clorados de origem orgânica.....	20
2.4.3. Combinação entre filtragem e cloração.....	22
2.5. Influência dos elementos ferro e cloro sobre as plantas.....	23
2.6. Uniformidade de aplicação de água.....	25

3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1. Localização e descrição do experimento.....	28
3.2. Qualidade da água utilizada na irrigação.....	28
3.3. Descrição e montagem do sistema de irrigação.....	29
3.3.1. Modelos de gotejadores amostrados.....	31
3.3.2. Descrição do delineamento experimental.....	32
3.4. Aplicação de dicloroisocianurato de sódio (65%).....	33
3.5. Avaliação da uniformidade de aplicação de água.....	34
3.6. Identificação das ferrobactérias causadoras do entupimento.....	36
3.7. Análise estatística.....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1. Avaliação da qualidade da água utilizada na irrigação	38
4.2. Identificação de Ferrobactérias.....	40
4.3. Uniformidade de aplicação de água.....	42
4.3.1. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).....	42
4.3.2. Coeficiente de uniformidade de Distribuição (CUD).....	46
4.3.3. Coeficiente de uniformidade Estatístico (UE).....	49
4.3.4. Vazão dos gotejadores.....	52
4.3.5. Coeficiente de variação da vazão (CVq).....	55
4.3.6. Análise Estatística dos Resultados.....	58
4.3.7. Reavaliação da Uniformidade.....	62
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
APÊNCIDE.....	79

LISTA DE TABELAS

	Página
1 - Elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada	7
2 - Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada.....	8
3 - Cloro residual livre para controle orgânico e de precipitados em sistemas de irrigação.....	17
4 - Estruturas químicas e teor de matéria ativa dos principais compostos clorados disponíveis no mercado.....	18
5 - Formas básicas, equações de reações do cloro e seus sais.....	21
6 - Tolerância de algumas culturas à concentração de cloro (Cl ⁻) na água de irrigação ou no solo, segundo Ayers e Westcot (1985).....	24
7 - Critérios para classificação dos sistemas de irrigação quanto ao Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC),.....	25
8 - Critérios para classificação dos sistemas de irrigação quanto ao Us..	27
9 - Equações de regressão ajustadas para os modelos M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento (TF), para as variáveis dependentes CUC, CUD, Us, vazão e CVq e seus respectivos coeficientes de determinação (R ²).....	59

LISTA DE QUADROS

	Página
1 - Características técnicas dos modelos de tubogotejadores utilizados no experimento.....	31
2 - Concentração de cobre, manganês total, ferro total, zinco, cálcio, magnésio, sódio, enxofre, potássio, pH e condutividade elétrica da água utilizada no experimento.....	38
3 - Resultados do ferro total (mg L^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH da água no ponto de captação e pH medido no final das linhas laterais nos Níveis N2, N3 e N4, no período de 29/06 a 09/08 de 2006.....	39
4 - Teste de média e valores médios do CUC, CUD, Us, vazão e CVq, para os modelos de tubogotejadores M1, M2 e M3.....	58
1A - Análise de variância dos valores do CUC.....	80
2A - Análise de variância dos valores do CUD.....	80
3A - Análise de variância dos valores do Us.....	81
4A - Análise de variância dos valores de vazão.....	81
5A - Análise de variância dos valores do CVq.....	82

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 - Esquema do sistema de irrigação montado no experimento.....	30
2 - Aplicação do dicloroisocianurato de sódio (65%) através do injetor venturi.....	33
3 - Vista da avaliação da uniformidade de aplicação de água no sistema de irrigação por gotejamento abastecido com água ferruginosa.....	36
4 - Imagens das ferrobactérias identificadas nos tubogotejadores.....	40
5 - Modelos de gotejadores M1 (a), M2 (b) e M3 (c) novos e após 700 h de funcionamento, com a presença de mucilagem formada pelas ferrobactérias.....	41
6 - Valores médios de CUC, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.....	42
7 - Valores médios de CUC, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.....	43
8 - Valores médios de CUC, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.....	43
9 - Valores médios de CUC, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.....	44
10 - Valores médios de CUD, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.....	46
11 - Valores médios de CUD, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.....	47

12 - Valores médios de CUD, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.....	47
13 - Valores médios de CUD, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.....	48
14 - Valores médios de Us, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.....	49
15 - Valores médios de Us, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.....	50
16 - Valores médios de Us, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.....	50
17 - Valores médios de Us, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.....	51
18 - Valores médios de vazão para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.....	52
19 - Valores médios de vazão para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.....	53
20 - Valores médios de vazão para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.....	53
21 - Valores médios de vazão para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.....	54
22 - Valores médios do coeficiente de variação da vazão (CVq) para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.....	55
23 - Valores médios do coeficiente de variação da vazão (CVq) para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.....	56
24 - Valores médios do coeficiente de variação da vazão (CVq) para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.....	56
25 - Valores médios do coeficiente de variação da vazão (CVq) para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.....	57
26 – Estimativas dos valores médios das variáveis dependentes CUC, CUD, Us e vazão em função do tempo de funcionamento, no modelo de gotejador M1 no Nível N1.....	60

27 - Estimativas dos valores médios das variáveis dependentes CUC, CUD, Us e vazão em função do tempo de funcionamento, no modelo de gotejador M2 no Nível N1.....	61
28 - Estimativas dos valores médios das variáveis dependentes CUC, CUD, Us e vazão em função do tempo de funcionamento, no modelo de gotejador M3 no Nível N1.....	62
29 - Valores médios do CUC, antes (Ava) e após (Reava) a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M1.....	63
30 - Valores médios do CUC, antes (Ava) e após (Reava) a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M2.....	63
31 - Valores médios do CUC, antes (Ava) e após (Reava) a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M3.....	64
32 - Valores médios do CUD, antes (Ava) e após (Reava) a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M1.....	65
33 - Valores médios do CUD, antes (Ava) e após (Reava) a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M2.....	65
34 - Valores médios do CUD, antes (Ava) e após (Reava) a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M3.....	66
35 - Valores médios do CVq, antes (Ava) e após (Reava) a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M1.....	67
36 - Valores médios do CVq, antes (Ava) e após (Reava) a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M2.....	67
37 - Valores médios do CVq, antes (Ava) e após (Reava) a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M3.....	68

RESUMO

MARTINS, Cristiani Campos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2007. **Efeito da cloração orgânica na uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por gotejamento utilizando água ferruginosa.** Orientador: Antônio Alves Soares. Co-Orientadores: Márcio Mota Ramos e Edvaldo Fialho dos Reis.

Com o aumento em área da irrigação localizada no Brasil, começaram a vir a público problemas de perda de desempenho de equipamentos, em regiões com águas superficiais com elevados teores de ferro total, como o norte do Espírito Santo. O objetivo do presente trabalho foi: avaliar o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento utilizados na irrigação com água ferruginosa, verificar a eficiência do tratamento químico com dicloroisocianurato de sódio (65%) na prevenção do entupimento e identificar as ferrobactérias causadoras da obstrução de gotejadores. Este trabalho foi realizado em uma área experimental na escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, Espírito Santo. Para avaliar o efeito da cloração orgânica na uniformidade de distribuição de água e na vazão de três modelos de tubogotejadores (M1; M2 e M3) foram testados quatro concentrações de cloro livre: nível N1 (sem aplicação de cloro), nível N2 (15 mg L⁻¹ de cloro livre), nível N3 (30 mg L⁻¹ de cloro livre) e nível N4 (45 mg L⁻¹ de cloro livre). As avaliações foram realizadas no início do experimento e a

cada 100 horas de funcionamento do sistema, totalizando 8 avaliações. O produto foi aplicado por uma hora, após cada avaliação de uniformidade. No final do experimento, foram retiradas amostras dos tubogotejadores para identificar a presença de ferrobactérias causadoras de entupimento. Após 700 horas de funcionamento, na subunidade de irrigação que não recebeu o tratamento com o dicloro (N1), os valores do CUC, CUD, Us e da vazão do tubogotejador M1 reduziram de: 23; 30,2; 28,35 e 26,13%, respectivamente; e para o modelo M2 as reduções foram de 12,3; 19,5; 16,25 e 27,4%, respectivamente. Para o modelo M3 ocorreram reduções no CUC, CUD e Us de 8,2; 15,17; 12,5%, entretanto, a vazão, diferentemente dos outros modelos, sofreu um incremento de 1%. O CVq no nível N1, apresentou aumento na variação para os três tubogotejadores. Os distintos tratamentos com dicloro (N2, N3 e N4) foram eficientes na prevenção de entupimento. Os tubogotejadores M1 e M3 apresentaram tendência em manter vazões constantes em todas as avaliações. Os três modelos de tubogotejadores apresentaram menores variações de vazão nas subunidades que receberam aplicação do cloro orgânico. Bactérias dos gêneros *Gallionella* e *Leptothrix* foram encontradas nos tubogotejadores, constatando-se a presença de 1 a 10 filamentos por célula em todas as amostras analisadas.

ABSTRACT

MARTINS, Cristiani Campos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2007. **Effect of the organic chlorination in the uniformity of water distribution in system of irrigation for dripping using water high in iron content.** Adviser: Antônio Alves Soares. Co-Advisers: Márcio Mota Ramos and Edvaldo Fialho dos Reis.

With the increase of the irrigated area micro irrigation in Brazil, problems of loss of equipment performances came out, in regions with superficial waters with high total iron concentration, as the north of the State of Espírito Santo. The objective of the present work was to evaluate the performance of drip irrigation systems working with water high total iron content, to verify the efficiency of the chemical treatment with dicloroisocianurato of sodium (65%) in the clogging prevention and to identify the ironbacteria that causes the emitters clogging. This experiment was carried through at *Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, Espírito Santo*. To evaluate the effect of the organic chlorination in the water distribution uniformity and the discharge of three models of tubedrippers (M1; M2 and M3), four levels chlorination was tested: level N1 (without chlorine application), level N2 (15 mg L⁻¹ of free chlorine), level N3 (30 mg L⁻¹ of free chlorine) and level N4 (45 mg L⁻¹ of free chlorine). The evaluations were performed in the beginning of experiment and every 100 hours of operation,

totalizing 8 evaluations. The product was applied by one hour, after each evaluation. At the end of the experiment, samples of the tubedrippers had been removed to identify the presence of causing ironbacteria of clogging. After 700 hours of operation, in the subunit with no dicloro treatment (level - N1); the values of CUC, CUD, US and the discharge for the tubedripper M1, reduced of 23; 30,2; 28,35 and 26,13%, respectively; for the model – M2 the reductions the reductions were: 12,3; 19,5; 16,25 and 27.4%, respectively; and for the model - M3 the reductions in the values of CUC, CUD and US were 8,2; 15,17; 12,5%, respectively, however, differently from the other models, the discharge increased 1%. The CVq in the N1 level, it had an increase in the variation for the three tubedrippers. The distinct chloride treatments (N2, N3 and N4) were efficient to prevent clogging. The discharge for the tubedrippers M1 and M3 were more constant in the different evaluations. The three models of tubogotejadores presented lower discharge variations in the subunits treated with organic chlorine. The bacterias of the gender *Gallionella* and *Leptothrix* were found in tubedrippers, presenting 1 the 10 filaments for cell in all the samples analysed.

1. INTRODUÇÃO

O gotejamento apresenta uma série de características favoráveis ao desenvolvimento agrícola, em relação aos outros sistemas, como: maior eficiência operacional, disponibilidade direta da água para a planta, menor necessidade de mão-de-obra e, além disso, a superfície molhada é menor, pois a água infiltra no solo formando um bulbo molhado, disponibilizando ao sistema radicular do vegetal a umidade necessária ao seu desenvolvimento. Por outro lado, a qualidade da água é um fator essencial, pois problemas de entupimento, diminuem a eficiência do sistema.

Os agentes causadores de entupimento nas tubulações e emissores dos sistemas de irrigação são de natureza física, química e biológica. Os agentes físicos que causam entupimento podem ser areia, silte e argila, ou resíduos de plásticos que não foram retirados durante a instalação do sistema, além de partículas orgânicas como fragmentos de plantas, resíduos de animais, moluscos ou outros organismos.

As obstruções químicas mais frequentes ocorrem com a precipitação e a deposição de cálcio (carbonatos e sulfatos de cálcio) e o ferro (López et al., 1992). Outros elementos químicos como o manganês e o enxofre podem ocasionar problemas de obstrução, pois na sua forma oxidada também geram precipitados de baixa solubilidade (Pizarro, 1996).

Os de origem biológica são causados por pequenos organismos aquáticos, como larvas, algas, fungos e bactérias que passam através dos filtros e desenvolvem-se formando grandes colônias no interior das tubulações. Em águas que contêm elevados teores de ferro total, as ferrobactérias produzem mucilagens que contribuem para agravar os problemas de entupimento nos sistemas de irrigação localizada (Ralph e Stevenson, 1995).

Atualmente existem diversos gotejadores de uso comercial, sendo que cada tipo de emissor possui uma sensibilidade própria ao entupimento, como verificado em trabalhos realizados por Ravina et al. (1992) e Resende (1999).

O entupimento pode ser parcial, reduzindo a uniformidade de aplicação, ou total, interrompendo por completo o funcionamento do sistema, causando sérios problemas às culturas, devido à deficiência hídrica (Cararo et al., 2004). As obstruções provocam variação na vazão nos gotejadores e como conseqüência reduz a uniformidade de distribuição de água e também de fertilizantes, no caso de uso da fertirrigação (López et al., 1992).

Para a minimização do entupimento são sugeridas diversas técnicas na literatura, e dentre elas as mais usuais são a filtragem e a cloração.

Os derivados clorados podem ser de origem inorgânica, como gás cloro, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio; e de origem orgânica que recebem este nome devido à estrutura química deste tipo de derivado clorado ser orgânica, ou seja, possuir carbono na sua estrutura química. Os principais representantes são o dicloroisocianurato de sódio e o ácido tricloroisocianúrico (Macêdo, 2000). Estes compostos clorados orgânicos são comercializados na forma de pó ou granulado, pois possuem uma maior estabilidade ao armazenamento que os compostos clorados inorgânicos, são mais estáveis em solução aquosa e conseqüentemente permanecem efetivos por períodos de tempos maiores, mesmo na presença de matéria orgânica (Andrade e Macêdo, 1996).

Outra característica vantajosa do uso do dicloroisocianurato de sódio é ausência de substâncias indesejáveis, como metais pesados, sendo seguro para o manuseio, e o pH da solução a 1%, varia de 6,0 a 8,0,

enquanto o pH de outros derivados clorados como hipoclorito de sódio e/ou de cálcio varia de 11,0 a 12,5. Com o uso dos derivados clorados de origem orgânica, a probabilidade de formação de substâncias potencialmente cancerígenas (trihalometanos) é muito pequena ou nula quando comparada com os níveis formados pelos derivados clorados de origem inorgânica (Macêdo, 1997).

A utilização de água com elevado teor de ferro em sistemas de irrigação por gotejamento têm proporcionado sérios problemas de obstrução dos emissores, devido também à proliferação de ferrobactérias. Assim, torna-se imprescindível o desenvolvimento de pesquisas que possam trazer soluções práticas para serem implantadas em campo, como a utilização de produtos eficientes e de baixo risco ambiental.

Diante do exposto, neste trabalho objetivou-se avaliar a eficiência do processo de cloração orgânica no tratamento de entupimento de tubogotejadores provocado pelo uso de água ferruginosa, objetivando-se especificadamente:

- Avaliar a eficiência da cloração orgânica no controle do entupimento tratamento de água ferruginosa utilizando cloração com dicloroisocianurato de sódio (65%), no controle do entupimento em sistemas de irrigação por gotejamento.
- Avaliar a uniformidade de aplicação de água com elevados teores de ferro total via sistemas de irrigação por gotejamento, com e sem tratamento químico, usando três modelos de tubogotejadores: modelo M1 (auto-compensante), modelo M2 (não auto-compensante) e modelo M3 (auto-compensante), com diferentes tempos de funcionamento.
- Verificar os gêneros de ferrobactérias causadoras de entupimento de gotejadores irrigando com água ferruginosa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Vantagens e limitações do sistema de irrigação por gotejamento

A irrigação por gotejamento compreende a aplicação de pequenas quantidades de água diretamente na zona radicular das plantas, através de fonte pontual ou linha de gotejadores sobre ou abaixo da superfície do solo, com pressões de operação variando entre 20 - 200 kPa e com baixa vazão (1 a 30 L h⁻¹) (Azevedo, 1986).

Os sistemas de irrigação localizada se caracterizam pela economia de água, pela pequena utilização de mão-de-obra, pela susceptibilidade a entupimentos ou mau funcionamento de seus componentes, pelo grande potencial de automação, pela manutenção de elevados níveis de água no solo para melhorar o desenvolvimento das culturas, pela possibilidade de se adequar às condições de solos pedregosos, rasos e topografia acidentada, pela possibilidade de aplicação de produtos químicos em solução na água de irrigação e pela redução dos riscos de contaminação das culturas (Scaloppi, 1986). Hanson e Lamm (1995) apontam ainda como vantagens, a economia de fertilizantes, redução de custos culturais e o aumento em produtividade. Todas essas são razões pelas quais a utilização destes sistemas tem crescido no Brasil.

Keller e Bliesner (1990) afirmam que o desenho dos emissores tem sido reconhecidamente condicionado para ter pequenas aberturas, proporcionando vazões mais próximas das taxas de infiltração da água no solo, mas resultando em maior probabilidade de entupimento quando comparados com os bocais dos aspersores. A precipitação química, a formação de filmes biológicos e depósitos de partículas inorgânicas no interior das canalizações e gotejadores são riscos presentes (Bastos, 1999).

Sistemas de irrigação, como o gotejamento, normalmente requerem um maior nível de manejo em relação aos demais sistemas, incluindo freqüentes inspeções e uso de medidores de vazão e pressão para verificar se o sistema está funcionando como definido no projeto (Smajstrla, 1991).

2.2. Águas ferruginosas na irrigação

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. No entanto, o aspecto da qualidade tem sido desprezado devido ao fato de que no passado as fontes de água, no geral eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização. O uso intensivo das águas de qualidade adequada à irrigação, implica tanto para os projetos novos como para os antigos, na necessidade de usar águas adicionais, de qualidade inferior (Soccol, 2003).

Thompson e Krider (1983) afirmam que as características da água disponível nas propriedades têm significativo efeito na seleção do sistema de irrigação. Muitos fatores como o local, a quantidade disponível, a quantidade distribuída no tempo e a qualidade da água têm efeito sobre as considerações para definir e avaliar a aplicabilidade do sistema de irrigação na propriedade.

A qualidade da água para irrigação localizada é um dos primeiros fatores a serem levados em conta (Ayers e Westcot, 1999; Ravina et al, 1992), pois refletirá posteriormente na vida útil do sistema e na qualidade da

irrigação. Como a água de irrigação pode não ser a desejável, uma forma de conviver com as obstruções é o tratamento da água com o intuito de reduzir os níveis de obstrução (Pizarro, 1996; Ayers e Westcot, 1999; Ravina et al., 1992; Resende et al., 2000).

O ferro e o manganês, em elevados teores são os principais causadores das obstruções de tubulações e emissores dos sistemas de irrigação. Estes elementos ao entrar em contato com o oxigênio atmosférico ou incorporado à água, oxidam-se passando para as formas Fe^{3+} e Mn^{4+} , de baixo coeficiente de solubilidade, precipitam-se facilmente no interior das tubulações e dos emissores, impedindo ou dificultando a passagem normal da água (Martins, 2000).

Bucks et al. (1979) estabeleceram que, para ser utilizada sem restrição na irrigação, a água deve apresentar concentração de ferro menor que $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ e que a utilização de águas com teor de ferro maior que $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ em sistemas de irrigação por gotejamento, apresenta severas restrições quanto ao risco de entupimento de gotejadores.

2.3. Entupimento em sistema de irrigação por gotejamento

Segundo Nakayama e Bucks (1991), diversas são as causas que podem provocar o entupimento parcial ou total de emissores e de tubulações, prejudicando o fluxo de água e sua distribuição ao longo das linhas de irrigação, principalmente nas laterais, e reduzindo a eficiência do sistema.

Existem muitos fatores físicos, químicos e biológicos nas águas superficiais e subterrâneas com elevado potencial de entupimento, particularmente de gotejadores. Tais fatores de entupimento estão apresentados na Tabela 1 e, freqüentemente, encontram-se inter-relacionados. Por essa razão, o problema é agravado, especialmente

quando mais de um fator de obstrução está presente na água de fertirrigação (Feigin et al., 1991).

Tabela 1 - Fatores físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada

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

Fonte: Bucks et al. (1979), adaptado por Feigin et al. (1991).

Bucks et al. (1979) também propuseram uma classificação da água de irrigação (Tabela 2) indicando critérios relativos ao risco de entupimento de gotejadores. Estas classificações baseiam-se em várias fontes, incluindo trabalhos de laboratório e experimentos de campo, realizados em vários locais e com diferentes qualidades de água.

Tabela 2 - Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada

Fatores	Risco de entupimento		
	Baixo	Moderado	Severo
Físico			
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	< 50	50 – 100	> 100
Químico			
pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	< 500	500 – 2.000	> 2.000
Manganês (mg L ⁻¹)	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Sulfeto de hidrogênio (mg L ⁻¹)	< 0,2	0,2 – 2,0	> 2,0
Biológico			
População bacteriana (nº mL ⁻¹)	< 1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁴ – 5 x 10 ⁴	> 5 x 10 ⁴

Fonte: Bucks et al. (1979).

López et al. (1992) afirmam que o problema mais grave e freqüente nas instalações de irrigação localizada, em particular no gotejamento, é o entupimento, e que, dependendo do tipo de sólidos em suspensão ou impurezas da água, os sistemas devem ser providos de algum tipo de equipamento de filtragem. Segundo os autores, se forem consideradas a natureza das obstruções, as mesmas podem ser causadas por partículas orgânicas ou inorgânicas ou, por precipitações e/ou proliferação de bactérias.

2.3.1. Fatores físicos

Os agentes físicos que causam entupimento podem ser areia, silte e argila, ou resíduos de plásticos que não foram retirados durante a instalação do sistema, além de partículas orgânicas como fragmentos de plantas, resíduos de animais, moluscos ou outros organismos. As obstruções causadas por agentes físicos podem ser controladas por meio de filtração

apropriada e lavagem periódica da linha lateral (Zazueta, 1992). Entretanto as partículas combinadas com a mucilagem de bactérias podem criar um tipo de obstrução não controlada pela filtragem. Finas partículas de materiais foram coletadas dentro dos emissores por Gilbert e Ford (1986), sendo o material cimentado juntamente com o lodo de bactéria do gênero *Pseudomonas* e *Enterobacteria*. A massa combinada obstruiu os emissores, embora as partículas individuais fossem suficientemente pequenas para passar através deles.

2.3.2. Fatores químicos

As obstruções químicas mais freqüentes ocorrem com o cálcio (carbonatos e sulfatos de cálcio) e o ferro (López et al., 1992). Outros elementos químicos como o manganês e o enxofre podem ocasionar problemas de obstrução, pois na sua forma oxidada também geram precipitados de baixa solubilidade (Pizarro, 1996).

As substâncias químicas dissolvidas na água de irrigação, por exemplo, o carbonato de cálcio e o sulfeto de cálcio em altas concentrações, podem precipitar e eventualmente formar incrustações nas paredes das tubulações e emissores, limitando a passagem da água. Problemas com incrustações e corrosão das tubulações podem ocorrer quando se utilizam águas subterrâneas (Ribeiro et al., 2005).

Os precipitados de cálcio e ferro são potenciais problemas na maioria das águas de poços. Uma análise química pode indicar se a concentração de bicarbonato, ou ferro, é suficientemente alta para causar precipitação. O ferro é solúvel em estado reduzido, porém, ao oxidar, precipita-se e pode obstruir os emissores. Este processo de oxidação pode ocorrer pela ação de bactérias e pelo contato com o ar ou com oxidantes

contidos na água, em ambiente aeróbico e anaeróbico (Keller e Bliesner, 1990).

Águas com teores entre 0,1 e 0,3 mg L⁻¹ de ferro, originam formas de incrustação geralmente ligeiras; quando a concentração de ferro varia entre 0,4 e 1,5 mg L⁻¹, poderão aparecer formas graves de incrustação, se, existirem outras condições favoráveis ao desenvolvimento dos organismos. Acima deste último valor, à ação das ferrobactérias associa-se a precipitação química do ferro, que, por seu lado, parece ter ação na deposição de substâncias orgânicas em suspensão (Ford, 1986).

Theis e Singer (1974) descreveram uma particularidade do íon ferroso (Fe²⁺), que consiste na sua capacidade de associar-se a determinados materiais orgânicos, formando complexos resistentes ao efeito da oxidação, mesmo com a presença de oxigênio dissolvido na água.

2.3.3. Fatores biológicos

Os fatores de origem biológica são causados por pequenos organismos aquáticos, como larvas, algas, fungos e bactérias que passam através dos filtros e desenvolvem-se formando grandes colônias no interior das tubulações, sendo seu crescimento favorecido por condições de repouso, iluminação, temperatura e nutrientes, como nitrogênio e fósforo. O pequeno diâmetro do orifício de gotejadores e a pequena velocidade da água (< 0,5 m s⁻¹), ao passar através dos emissores, favorecem o entupimento pelo crescimento biológico (Tajrishy et al., 1994 e Ravina et al., 1997).

O entupimento devido a causas biológicas é mais comprometedor em sistemas de irrigação localizada, cuja água contém fragmentos orgânicos e ferro ou sulfeto de hidrogênio. A combinação de fertilizantes e o aquecimento da água nas tubulações de cor preta, também, podem

promover o crescimento de limo. A maioria das fontes de água, que contêm carbonatos e bicarbonatos, pode disponibilizar energia para alguns tipos de bactérias autotróficas formadoras de limo (Gilbert e Ford, 1986).

2.3.3.1. Ferrobactérias

As ferrobactérias produzem mucilagens que contribuem para agravar os problemas de entupimento nos sistemas de irrigação localizada (Ralph e Stevenson, 1995). Igualmente problemáticas são as massas mucilaginosas, formadas pelas ferrobactérias filamentosas. Essas mucilagens crescem rapidamente, mesmo em águas que contêm nível muito baixo de ferro, e são especialmente problemáticas em águas com substâncias orgânicas adstringentes (tipo taninos), solúveis e escuras, as quais servem de alimento para as bactérias (Ayers e Westcot, 1985).

Matsura et al. (1989), citam que a ferrugem (limo ferroso) pode desenvolver-se pela ação de bactérias ferruginosas que infectam a água, mesmo que o conteúdo de ferro na água seja baixo (menos de 1 mg L^{-1}).

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

As bactérias ferrosas *Sphaerotilus*, *Gallionella* e *Crenothrix* utilizam a energia resultante da conversão do óxido ferroso em hidróxido férrico. Este composto deposita-se no microorganismo sob a forma de bainhas, que por sua vez acumulam-se nas paredes das tubulações, criando pequenas áreas

de hidróxido férrico (Cordoville, 2005). Estas bactérias têm importância econômica e sanitária, causando a formação de crostas de ferrugem no interior de tubos ou de residências, precipitando hidróxido férrico em águas ricas nesse elemento. Elas chegam a formar extensos depósitos geológicos de ferro e, nas canalizações, constituem freqüentes causas de obstruções, além de dar uma coloração parda avermelhada à água.

O ferro precipitado pode ser arrastado pela água, saindo pelo emissor, ou pode ser retido por filamentos de bactérias, que obstrui a passagem da água. As bactérias podem aderir ao plástico ou ao metal, o que impede seu arraste pela água. Outras bactérias não-filamentosas, como *Enterobacter* e *Pseudomonas*, também podem precipitar o ferro e reter o precipitado na massa gelatinosa formada por elas, atuando também como cimentante de pequenas partículas minerais (Pizarro, 1996).

Segundo Silva e Almeida (1979), as ferrobactérias desenvolvem-se em pH que varia entre 4,3 e 8,5. Estes organismos não produzem seu próprio alimento e não requerem luz do sol para se desenvolver. No entanto, sistemas com suprimento de água aberto são mais suscetíveis ao desenvolvimento de mucilagem (Keller e Bliesner, 1990).

2.3.4. Susceptibilidade de gotejadores ao entupimento

Conforme Correa (1990), Keller e Bliesner (1990), Pizarro (1996) e Lopez et al. (1997), são necessários diversos critérios para a seleção dos emissores. A susceptibilidade ao entupimento caracteriza-se como um dos fatores que interfere nestes critérios (Batista, 2004).

Dois parâmetros críticos relacionados à sensibilidade de obstrução são o tamanho da passagem da água e sua velocidade através da passagem. Geralmente, gotejadores com seção transversal inferior de dimensões inferior à 1,5 mm apresentam alguma sensibilidade à obstrução.

Porém, velocidades que oscilam entre 4,0 e 6,0 m s⁻¹ reduzem o entupimento nas estreitas passagens dos gotejadores (Keller e Bliesner, 1990).

Gotejadores e microaspersores com diâmetros inferiores a 0,7 e a 0,4 mm são mais susceptíveis, enquanto que diâmetros acima de 1,5 e 0,7 mm são menos susceptíveis (Lopez et al., 1997). Estes autores também apontam a geometria da passagem como uma característica do emissor a ser considerada. Neste caso, são preferíveis: os gotejadores com poucas zonas mortas no conduto de passagem, os não auto-compensantes, pois os auto-compensantes reduzem a passagem à medida que se aumenta a pressão, e os de menor área exposta à evaporação.

Atualmente existem diversos gotejadores em uso comercial, cada tipo possui uma sensibilidade própria ao entupimento, fato que pode ser verificado em trabalhos realizados por Ravina et al. (1992) e Resende (1999 e 2000) e na classificação proposta por Pizarro (1996).

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

Geralmente, as obstruções causam diminuição da vazão dos emissores; no entanto, existem alguns modelos onde ocorre o oposto. Ravina et al. (1992), trabalharam com emissores autocompensantes e não autocompensantes e observaram aumento da vazão no início do processo de entupimento, em ambos os tipos. Cordeiro (2002) e Souza (2006) constatarem aumento da vazão de gotejadores Netafim RAM 17 após dois anos de operação, o que alterou a uniformidade de distribuição de água do sistema e, conseqüentemente, reduziu a eficiência do uso da água. Este mesmo comportamento foi observado por Resende et al. (2000), com os gotejadores Netafim RAM e Dripline, no qual, o aumento da vazão, pode estar associado ao primeiro estágio de acumulação de material dentro do emissor, o que pode alterar o regime do escoamento.

2.4. Medidas para minimizar o entupimento de gotejadores

Diversas medidas podem ser adotadas, isoladas ou em conjunto, para prevenir a ocorrência de entupimento, tais como: adequação do equipamento, o correto planejamento e manejo do sistema, a filtragem, a cloração, as descargas de água periódicas ao final das linhas de irrigação, o uso de substâncias como ácido fosfórico e ácido clorídrico. Também pode ser utilizada a aeração da água em lagoas que promove a oxidação de ferro e manganês antes de entrar no sistema (Gilbert e Ford, 1986; Nakayama e Bucks, 1991; Hassen et al., 2000; Caram et al., 2004).

A escolha de uma ou da combinação das medidas citadas deve ser cuidadosa, pois em certos casos pode ser ineficiente, dispendiosa, apresentar riscos à saúde humana ou causar resultados indesejáveis, como a fitotoxidez. Usualmente utilizam-se filtros combinados a um tratamento químico, inspeção a campo e lavagem das linhas laterais.

Estando o sistema entupido, as alternativas são a troca dos emissores ou, segundo Gilbert et al. (1979), a realização de processos de recuperação, que aumenta os custos de manutenção do sistema e, em algumas circunstâncias, pode ser ineficiente. Assim, a prevenção à obstrução dos emissores e das linhas de distribuição é melhor em relação à recuperação, conforme sugerido por Resende (1999).

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

Os métodos de prevenção do entupimento de gotejadores deverão envolver aspectos relacionados ao manejo do sistema (filtragem, inspeção de campo e lavagem de redes de distribuição) e também medidas de tratamento químico da água de irrigação (Gilbert e Ford, 1986).

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

2.4.1. Filtragem

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

Para Gilbert e Ford (1986), a seleção do tipo de filtro, tamanho e capacidade, depende da qualidade da água e das características do emissor. Segundo eles, a recomendação dos fabricantes de emissores é de que o nível de filtração requerido seja seguido; no entanto, não existem informações disponíveis. Na prática, recomenda-se que os orifícios do filtro tenham 1/10 do diâmetro dos emissores, evitando assim, que partículas agrupadas possam vir a entupir a passagem. Para estes autores, se as condições físicas da água indicarem situação severa, dois ou mais tipos de filtros podem ser necessários.

Segundo Keller e Bliesner (1990), os diferentes dispositivos de filtragem são efetivos na remoção de diferentes tipos de material da água. Os filtros comumente utilizados nos sistemas de irrigação localizada são os filtros de areia, de tela e os filtros centrífugos.

O filtro de tela é o filtro mais utilizado em sistemas de irrigação localizada, sendo que a malha da tela depende do tamanho de partícula que se pretende remover. Muitos emissores disponíveis comercialmente requerem filtros com malhas para reter material com tamanho de 150 a 75 μm (100 a 200 mesh).

Os filtros de areia podem remover relativamente grandes quantidades de sólidos suspensos na água, permitem inspeções menos constantes, mas podem fornecer condições favoráveis ao crescimento de bactérias e retém apenas partículas de 25 a 100 μm (Gilbert e Ford, 1986).

Os filtros centrífugos são utilizados na remoção de partículas mais pesadas que a água e maiores que 75 μm , sendo algumas vezes instalados na sucção da bomba, de modo a realizar a remoção primária da areia do sistema. Isto reduz o desgaste do rotor pela areia e remove a mesma do sistema de distribuição (Keller e Bliesner, 1990).

Qualquer sistema de filtragem requer inspeção e limpeza rotineira para assegurar a operação satisfatória do sistema (Gilbert e Ford, 1986). O desempenho de filtros de tela dependem da vazão, da área efetiva de filtragem (malha entre 50 e 120 mesh) e de uma queda máxima de pressão admitida de 40 kPa. Para os filtros de disco, a vazão, a espessura das ranhuras dos discos e a queda de pressão de 40 kPa, são as variáveis mais influentes no funcionamento (Cararo et al., 2004).

2.4.2. Cloração

O cloro permite criar um ambiente em que as algas não possam se desenvolver; atua como agente oxidante, causando a decomposição da matéria orgânica; previne a aglomeração e sedimentação de matéria orgânica suspensa e oxida substâncias como ferro, manganês e enxofre,

produzindo compostos insolúveis, oxida as bactérias, destruindo-as, e elimina as geléias ferríferas orgânicas (Silva e Almeida, 1979).

Emissores apresentando redução de vazão de 25% a 50% foram tratados por Nakayama et al., (1977) com a utilização de cloro, na concentração de 100 mg L⁻¹. Este tratamento resultou em um retorno do funcionamento dos emissores de aproximadamente 95% da vazão inicial. Pizarro (1996) recomenda para a recuperação de emissores parcialmente entupidos, a aplicação durante um período de 12 horas de concentrações de cloro de 250 a 500 mg L⁻¹, seguida de lavagem das redes.

Keller e Bliesner (1990) propõem alguns valores da concentração de cloro para serem utilizados na prevenção de problemas que possam ocorrer, como apresentados na Tabela 3. Apesar da existência dessas recomendações, Lopez et al. (1997) sugerem também a medida do pH, pois este afeta a eficiência do hipoclorito.

Tabela 3 - Cloro residual livre para controle orgânico e de precipitados em sistemas de irrigação

Forma de uso	Concentração de cloro	Para controlar
Contínua	0,5 a 1 mg L ⁻¹	Algas
Aos 20 minutos finais da irrigação	20 mg L ⁻¹	Algas
Não descrita	3,6 a 8,4 vezes o conteúdo de H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
Não descrita	1 mg L ⁻¹ acima do conteúdo de Fe	Ferrobactérias
Não descrita	0,64 vezes o conteúdo de Fe ²⁺	Ferro
Não descrita	1,3 vezes o conteúdo de Mn	Manganês
Manutenção ao final das linhas de irrigação	1 mg L ⁻¹	Limo

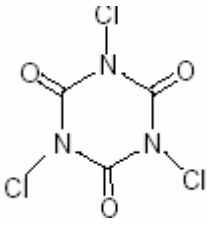
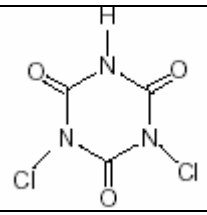
Fonte: Keller e Bliesner (1990)

Para Soares e Maia (1999), existe uma série de fatores que influenciam a ação bactericida do cloro, podendo-se citar: teor de matéria

orgânica oxidável, concentração de microrganismos, pH da água, temperatura, tempo de contato e composição química da água (presença de sais de ferro, amônia, etc.)

Segundo Clark e Smajstrla (1999), o ácido hipocloroso (HOCl) é um agente efetivo que inibe o crescimento de bactérias. A quantidade de HOCl que estará presente na solução, dependerá do pH. Em pH igual a 8, somente cerca de 22% do cloro injetado estarão na forma ativa HOCl, em pH igual a 7, haverá cerca de 73% e, em pH igual a 6, cerca de 96% do cloro estarão na forma ativa. Portanto, se o pH da água de irrigação for alto, deve-se aplicar ácido antes do cloro, para baixá-lo, mantendo-o na faixa entre 5,0 e 6,0. Na Tabela 4 estão apresentadas as estruturas químicas e o teor de matéria ativa dos principais compostos clorados disponíveis no mercado.

Tabela 4 - Estruturas químicas e teor de matéria ativa dos principais compostos clorados disponíveis no mercado

Derivados clorados inorgânicos	Teor de matéria ativa (%)	Fórmulas
Hipoclorito de sódio	12%	NaClO
Hipoclorito de cálcio	65%	Ca(ClO) ₂
Gás cloro	100%	Cl ₂
Dióxido de cloro	17%	ClO ₂
Derivados clorados orgânicos	Fórmulas	
	90%	
Ácido tricloroisocianúrico		
	65%	
Ácido dicloroisocianúrico (*)		

O teor de matéria ativa é um valor aproximado.

* Disponíveis nas formas de sais de sódio e potássio.

Fonte: Adaptado Dychdala, 1991.

Dos produtos apresentados o mais utilizado em função do custo e da disponibilidade do produto é o hipoclorito de sódio, princípio ativo da água sanitária, produto que possui de 2 a 2,5% de teor de matéria ativa. Ressalta-se que o hipoclorito de sódio é líquido e o manuseio requer cuidados para evitar perdas, pelo uso em excesso e do contato da pele com o produto, em função do pH. Por outro lado, o cloro gás é de difícil manuseio, exigindo para seu uso, equipamento especial e pessoal bem capacitado. É comercializado na forma líquida, em cilindros de aço, onde se encontra comprimido. Do estado líquido, o cloro reverte-se à forma gasosa quando liberado em condições atmosféricas (Andrade e Macêdo, 1996).

O hipoclorito de cálcio facilita o processo de incrustações, como exemplo, a chamada “água dura”, que em função da presença de cálcio e magnésio provoca incrustações e entupimentos nas tubulações, etc., outra característica importante é que produtos a base de cálcio tem problemas de solubilidade, ou seja, o nível de sólidos insolúveis do produto é muito alto.

A utilização de derivados clorados na água de irrigação merece atenção especial no que se refere à possibilidade de formação de substâncias potencialmente cancerígenas, denominadas trihalometanos, que se originam das reações entre o cloro e as substâncias orgânicas presentes na água (Sampaio Pereira, 1989).

Dos derivados clorados de origem inorgânica, o dióxido de cloro é o único que produz concentrações muito baixas de compostos organoclorados (principalmente trihalometanos). Mas, sua utilização ainda é restrita, por causa de sua facilidade de explosão e maiores custos de produção e de operação com relação ao cloro gás e aos hipocloritos de sódio e de cálcio (Ribeiro et al., 2000).

2.4.2.1. Utilização de derivados clorados de origem orgânica

Na década de 70, surgiram os chamados derivados clorados orgânicos, denominados de “cloraminas orgânicas”, destacando-se o dicloroisocianurato de sódio e o ácido tricloroisocianúrico (Dychdala, 1991; Blatchley III, 1994).

Os derivados clorados de origem orgânica recebem este nome devido sua estrutura química possuir carbono (Blatchley III, 1994; Andrade e Macêdo, 1996; Macêdo, 2000). Seu uso tem se expandido no Brasil, sendo comercializados na forma de pó ou granulado, pois possuem uma maior estabilidade ao armazenamento que os compostos clorados inorgânicos (Lever Industrial, 1995; Genco, 1998; Hidroall, 2000). Também são mais estáveis em solução aquosa, o que implica numa liberação mais lenta de ácido hipocloroso e conseqüentemente permanecem efetivos por períodos de tempos maiores, mesmo na presença de matéria orgânica (Andrade e Macêdo, 1996).

Dentre os compostos clorados orgânicos o dicloroisocianurato de sódio apresenta ausência de substâncias indesejáveis e metais pesados, sendo extremamente seguro para o manuseio e inócuo ao ser hidrolizado. Outra característica vantajosa no seu uso no dia a dia é o pH da sua solução a 1%, que varia de 6,0 a 8,0, enquanto o pH de outros derivados clorados como hipoclorito de sódio e/ou de cálcio varia de 11,0 a 12,5. Com o uso dos derivados clorados de origem orgânica, a probabilidade de formação de trihalometanos é muito pequena ou nula quando comparada com os níveis formados pelos derivados clorados de origem inorgânica (Macêdo, 1997).

Deve-se ressaltar que, derivados clorados de origem orgânica, como o dicloroisocianurato de sódio e o ácido tricloroisocianúrico foram certificados para serem utilizados em tratamento químico de água para abastecimento público pelo NSF (National Sanitation Foundation), dos Estados Unidos, em 2002.

O ácido hipocloroso (HClO) controla a ação oxidante dos derivados clorados, sendo um produto resultante da hidrólise da substância clorada, conforme observado na Tabela 5 (Equações 1, 2, 3 e 4). O HClO e ClO⁻ são denominados de cloro residual livre (CRL) (Macêdo, 2000).

Tabela 5 - Formas básicas, equações de reações do cloro e seus sais

$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{HClO}$	(1)
$\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^- + \text{HOCl}$	(2)
$\text{Ca(OCl)}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^- + 2 \text{HOCl}$	(3)
$*\text{C}_3\text{N}_3\text{O}_3\text{Cl}_2\text{Na} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{N}_3\text{O}_3\text{H}_2\text{Na} + 2 \text{HOCl}$	(4)
$\text{HOCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OCl}^-$	(5)
$\text{HOCl} + 2 \text{Fe}^{2+} + \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{Fe}^{3+} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	(6)
$\text{Cl}_2 + 2 \text{Fe(HCO}_3)_2 + \text{Ca(HCO}_3)_2 \rightarrow 2 \text{Fe(OH)}_3 + \text{CaCl}_2 + 6 \text{CO}_2$	(7)

Fonte: Nakayama (1986) e Dychdala (1991).

Em solução, o ácido hipocloroso pode se dissociar para formar o íon hipoclorito e o íon hidrogênio (Equação 5 da Tabela 5). Em pH menor ou igual a 5,0 o cloro está presente na sua forma molecular (Cl₂), que é volátil e se perde com facilidade. Quando o valor do pH está entre 5,0 e 6,0, o cloro residual livre é devido quase que inteiramente à presença do ácido hipocloroso. Em pH 7,5, as concentrações de ácido hipocloroso e íon hipoclorito são praticamente iguais, em pH igual ou maior a 10, todo o cloro residual livre passa a ser proveniente do íon hipoclorito (Pizarro, 1996; Richter e Azevedo Netto, 2002). O ácido hipocloroso pode reagir com o íon ferroso (Fe²⁺), oxidando-o a íon férrico (Fe³⁺), que poderá precipitar nas linhas laterais do sistema de irrigação, como apresentado nas Equações 6 e 7 da Tabela 5.

Macêdo (2000) indica que após a aplicação do dicloro, a água deve conter um teor médio mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg L⁻¹, sendo obrigatória a manutenção de no mínimo, 0,2 mg L⁻¹ em qualquer ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

2.4.3. Combinação entre filtração e cloração

O tratamento de água comumente efetuado em projetos de irrigação localizada inclui apenas a filtração da água utilizada em filtros de areia, tela ou discos. Diversos trabalhos têm apontado para o fato de que apenas a filtração da água é insuficiente para prevenir o entupimento de emissores (Gilbert e Ford, 1986; Gilbert et al., 1979).

Segundo Pizarro (1996), os mais finos filtros de areia e tela podem ser atravessados por fragmentos de algas e células, que podem acumular-se no interior das tubulações.

Resende et al. (2000) estudaram a eficiência da cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. Nos testes, foram utilizados cinco modelos de gotejadores, de um único fabricante, e quatro dosagens de cloro (150, 300, 450 e 600 mg L⁻¹). A recuperação dos gotejadores consistiu na aplicação de hipoclorito de sódio (12%) durante 60 minutos, nos sistemas de irrigação e, logo após, deixou-se o produto interagir por 12 horas nas linhas laterais, sem fluxo na rede. Em quatro dos gotejadores avaliados, a aplicação de cloro resultou em aumento da vazão média. Particularmente, um dos modelos de gotejadores apresentou redução da vazão média em todas as concentrações de cloro utilizadas. Os referidos autores explicaram que tal redução de vazão pode estar associada ao efeito da dissolução de material pela ação do cloro, anteriormente localizado nas paredes das linhas laterais. Esse material composto por mucilagem, decorrente do desenvolvimento bacteriano, ao ser dissolvido penetraria no gotejador, depositando-se ao longo do seu labirinto de percurso da água, o qual, entre todos os modelos, apresentou as menores dimensões.

Cordeiro (2002) aplicou tratamento contínuo de cloração na concentração de 0,5 a 1,0 mg L⁻¹ de cloro livre em um sistema de gotejamento montado com cinco diferentes modelos de gotejadores, abastecido com água com teor de ferro em torno de 3,0 mg L⁻¹. Associado à

cloração utilizou-se aeração e decantação. Após 300 horas de funcionamento não foi observada redução significativa de vazão em nenhum modelo testado.

2.5. Influência da Interação ferro-cloro

Em ambientes oxidantes o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} dando origem ao hidróxido férrico (Apha, 2005), que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água. Desta forma, águas com alto conteúdo de ferro, ao saírem do poço são incolores, mas ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ficam amarelada, o que lhes confere uma aparência nada agradável. Apesar do organismo humano necessitar de até 19 mg de ferro por dia, os padrões de potabilidade exigem que uma água de abastecimento público não ultrapasse os $0,3 \text{ mg L}^{-1}$. Este limite é estabelecido em função de problemas estéticos relacionados à presença do ferro na água e do sabor ruim que o ferro lhe confere.

Superclorações de até 1000 mg L^{-1} foram citadas por Gilbert e Ford (1986), para a recuperação de emissores parcialmente entupidos. Tais autores ressaltam, porém, o risco de injúria às raízes das plantas. Adicionalmente, superdosagens podem afetar a membrana de borracha natural de emissores autocompensantes.

Uma limitação alertada por Macedo et al. (1983) é a formação de trihalometanos (THMs) na reação do cloro com produtos dissolvidos na água de irrigação. Os THMs (triclorometano ou clorofórmio, bromodiclorometano, iodobromoclorometano, dibromoclorometano, tribromometano ou bromofórmio) podem ser absorvidos pelas plantas e posteriormente, transferidos ao ser humano, no qual se caracterizam como agentes potencialmente cancerígenos.

Deve-se também considerar a tolerância das culturas a cloretos como sugerem os valores indicados de níveis máximos permissíveis por cultura apresentados por Ayers e Westcot (1999). Entretanto, de acordo com Gilbert e Ford (1986) as fontes de cloro utilizadas em baixas concentrações possivelmente não causam prejuízos às plantas. Geralmente, fruteiras (abacate, uva, limão, e laranja), hortaliças (alface, couve, pimentão, rabanete, cenoura e cebola) e alguns legumes (feijão e fava) são mais suscetíveis à toxicidade pelo íon cloreto presente na água de irrigação (Xu et al., 2000). Na tabela 6, estão apresentados os níveis de tolerância de algumas culturas ao íon cloro.

Tabela 6 - Tolerância de algumas culturas à concentração de cloro (Cl⁻) na água de irrigação ou no solo, segundo Ayers e Westcot (1999)

Culturas	Concentração de Cl ⁻ (me/L)	
	No extrato saturado do solo	Na água de irrigação
Abacate	6,0	4,0
Grapefruit	25,0	16,5
Tangerina	25,0	16,5
Limão	15,0	10,0
Poncã	15,0	10,0
Laranja	10,0	7,0
Uva	10,0	7,0
Ameixa	10,0	7,0
Morango	5,0	3,0

Concentrações de cloreto permissíveis na água de irrigação foram indicadas por Ayers e Westcot (1999) na faixa de 175 e 945 mg L⁻¹. Lima (1997) afirmou que valores de cloreto na água de irrigação abaixo de 70 mg L⁻¹, não são problemáticos para todas as culturas, sendo a faixa de 70 a 140 mg L⁻¹ a que apresentou danos moderados nas folhas, em culturas sensíveis.

2.6. Uniformidade de aplicação de água

A uniformidade de aplicação de água é uma informação importante na a avaliação de sistemas de irrigação localizada, tanto na fase de projeto como no acompanhamento do desempenho após a implantação, sendo uma etapa fundamental antes que qualquer estratégia de manejo seja implantada (Reis et al., 2002).

Durante décadas, pesquisadores propuseram diferentes coeficientes para expressar a uniformidade da lâmina aplicada com base em observações pontuais. O coeficiente de Christiansen (CUC), desenvolvido por Christiansen (1942), é o mais utilizado para quantificação da uniformidade na distribuição da água em irrigação. Na Tabela 6 estão apresentados os critérios para a classificação da uniformidade dos sistemas de irrigação. Para culturas de alto rendimento econômico o coeficiente de uniformidade de Christiansen deve estar acima de 88% (Peixoto et al., 2005).

Tabela 7 - Critérios para classificação dos sistemas de irrigação quanto ao Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

CUC (%)	Avaliação
90 – 100	Excelente
80 – 90	Boa
70 – 80	Razoável
60 – 70	Ruim

Fonte: Mantovani (2002)

O CUC fornece resultados mais precisos, no entanto, possui alguns inconvenientes, como, por exemplo, dar idêntica importância às variações tanto acima como abaixo da média; isto no caso de irrigação localizada é grave, pois muitas variações superiores indicam um excesso de água que

em geral não afetará o cultivo, e sim, a eficiência de irrigação; já as variações inferiores indicam que a planta receberá menos água do que necessita, podendo diminuir a produtividade (Medina San Juan, 2000).

Outra medida de uniformidade utilizada é a razão entre a média de 25% dos menores valores de lâminas de irrigação (menor quartil) e a lâmina média aplicada na superfície do solo. Kruse (1978) denominou-a de uniformidade de distribuição (CUD). Bralts (1986) apresentou os critérios para classificação dos sistemas de irrigação em relação aos valores de CUD que são: excelente (90% ou maior), bom (80% a 90%), regular (70% a 80%) e ruim (menor que 70%).

Para os sistemas de irrigação localizada, segundo Lòpez et al. (1992), recomenda-se o uso do coeficiente de uniformidade de distribuição, pois este possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água.

Merriam e Keller (1978) sugeriram o uso de no mínimo dezesseis gotejadores para a coleta de vazão, distribuídos em quatro linhas laterais e em quatro pontos ao longo das linhas selecionadas. Essa metodologia foi modificada por Denículi et al. (1980) e consiste na coleta da vazão dos gotejadores em oito posições e em quatro laterais. Em condições de água ferruginosa e diferentes níveis de uniformidade, é recomendável a modificação proposta por Denículi (Vieira et al., 2002).

A uniformidade estatística (U_s) foi primeiramente apresentada por Wilcox e Swailes (1947) na avaliação de equipamentos de irrigação por aspersão, sendo função do coeficiente de variação (CV) da lâmina de água aplicada. De acordo com Bralts et al. (1987), uma abordagem estatística idêntica pode ser feita para os sistemas de irrigação localizada, bastando a substituição das lâminas de água, na conceituação original, pela vazão dos emissores. Esse conceito, aplicado à irrigação localizada, está apresentado nos trabalhos de Bralts (1986), Bralts e Kesner (1983), Bralts et al. (1981a, b, 1987) e Benami e Ofen (1984). Observa-se na Tabela 8 os critérios para classificação de U_s .

Tabela 8 - Critérios para classificação dos sistemas de irrigação quanto a Us

Us (%)	Avaliação
90 – 100	Excelente
80 – 90	Muito bom
70 – 80	Regular
60 – 70	Péssimo
< 60	Inaceitável

Fonte: Favetta e Botrel (2001)

Segundo Soares et al. (1993), a uniformidade de aplicação de água influencia, diretamente, a produtividade da cultura e a energia consumida no bombeamento de água, sendo que a produtividade tende a aumentar com a uniformidade de aplicação da irrigação. No que se refere ao manejo do sistema de aplicação, uma consequência direta da baixa uniformidade de aplicação de água é o aumento do volume aplicado, já que o aplicador, ao constatar a diminuição da vazão média dos gotejadores, pelo efeito do entupimento, tem a tendência de aumentar o tempo de aplicação (Cunha, et al., 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento

A pesquisa foi desenvolvida em uma área experimental pertencente à Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, situada a 19°48' de latitude sul e 40°40' de longitude Oeste, em uma altitude de 174 m. A escola está a 22 km de Santa Teresa, ES, região que apresenta sérios problemas na irrigação com água ferruginosa.

3.2. Qualidade da água utilizada na irrigação

A água utilizada foi captada de uma lagoa localizada próxima ao local onde foi montado o experimento.

Fez-se a coleta de uma amostra de água no local de captação, para efeito de caracterização do teor de ferro total e de outros elementos de

importância para a irrigação localizada, como manganês total, sódio, enxofre, cálcio, magnésio, cobre, zinco e potássio, além do pH e condutividade elétrica.

O teor de ferro total presente na água de irrigação foi determinado semanalmente, utilizando kit modelo IR – 18, com reagente ferover, com amostras de água retiradas antes do filtro e no final das linhas de irrigação.

A temperatura e o pH da água de irrigação também foram determinados semanalmente, utilizando-se termômetro e peagâmetro, respectivamente.

3.3. Descrição e montagem do sistema de irrigação

Na área experimental na escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, foi montado um sistema de irrigação por gotejamento composto de um conjunto motobomba de 1 cv e tubulação de sucção de PVC com diâmetro nominal de 32 mm.

A linha principal alimentava quatro linhas de derivação constituídas de PVC com diâmetro nominal de 32 mm. Em cada linha de derivação foram conectadas nove linhas laterais, espaçadas de 0,15 m, sendo três linhas laterais para cada modelo (repetições) com 20 m de comprimento contendo cada uma 24 tubogotejadores (Figura 1).

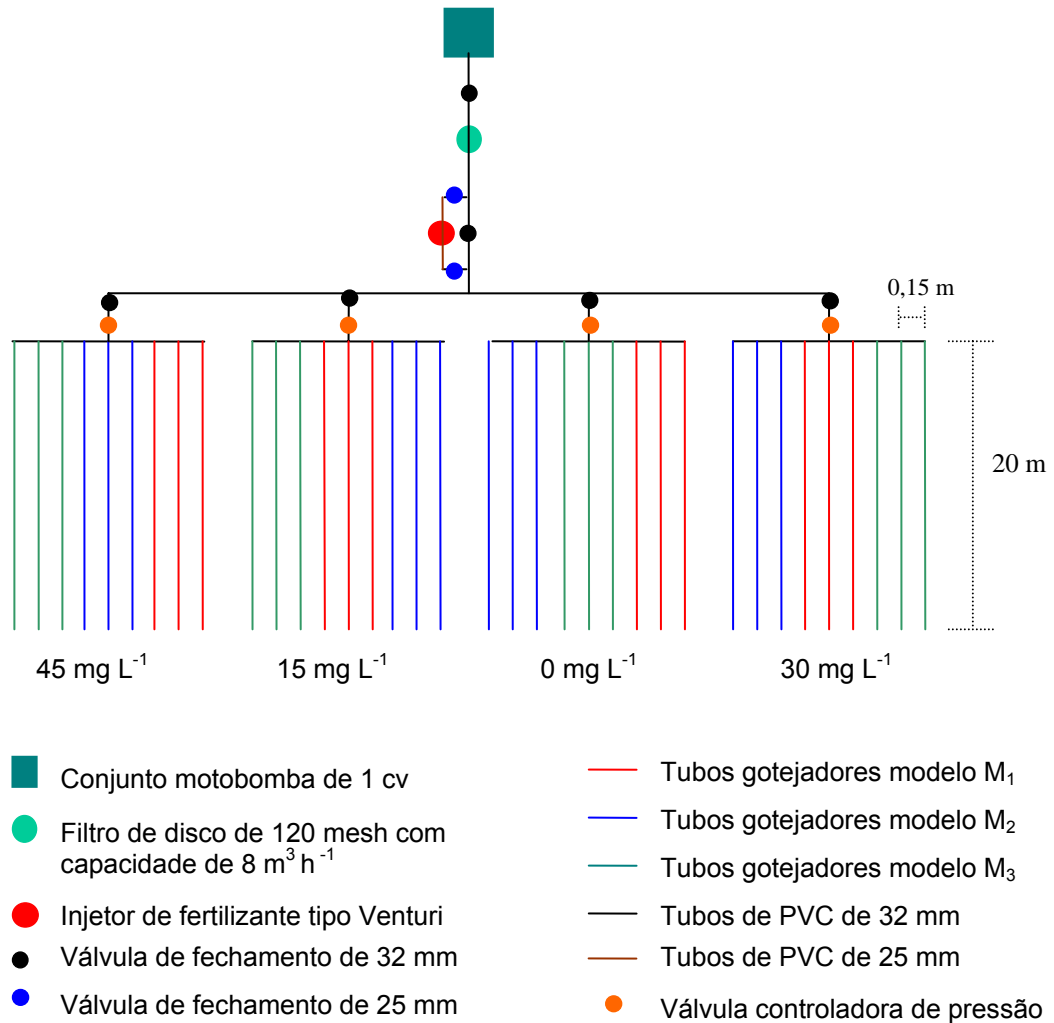


Figura 1 - Esquema do sistema de irrigação montado no experimento.

Foram instaladas quatro válvulas reguladoras de pressão, no início de cada linha de derivação, objetivando manter a pressão de serviço em 140 KPa. Com o auxílio de um manômetro realizavam-se medições periódicas no final das linhas laterais para a verificação da pressão.

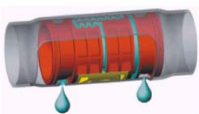

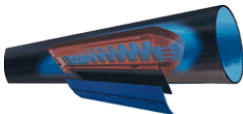
Um filtro de disco de 120 mesh com capacidade de $8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ foi instalado após o conjunto motobomba. Todos os dias mediam-se a pressão de serviço antes e após o filtro, com um manômetro. A limpeza do filtro era realizada sempre que a diferença de pressão antes a após o filtro era igual ou superior à 20 kPa, conforme o critério proposto por Bernardo et al., (2006).

O tempo de operação total do sistema foi de 700 h, com o sistema funcionando, em média, 15 h por dia. No dia em que era feita aplicação do dicloro, o sistema funcionava apenas 5 h. As avaliações foram realizadas no início do experimento e a cada 100 horas de funcionamento do sistema, totalizando 8 avaliações. Utilizou-se um temporizador para ligar e desligar o sistema nos horários programados.

3.3.1. Modelos de gotejadores amostrados

Os modelos de gotejadores testador são comumente utilizados pelos irrigantes no estado do Espírito Santo, sendo dois auto-compensantes e um não auto-compensante. Suas características técnicas estão mostradas no Quadro 1.

Quadro 1 - Características técnicas dos tubogotejadores utilizados no experimento

Características técnicas	Modelo		
	M1	M2	M3
Vazão (L h ⁻¹)	2,2	2,6	2,3
Compensação da pressão	sim	não	sim
Diâmetro interno (mm)	13,8	16,1	14,6
Diâmetro externo (mm)	16,0	17,3	17,0
Pressão (KPa)	80 – 350	150	50 – 400
Espaçamento entre gotejadores (m)	0,75	0,75	0,75
Ilustração			

O modelo M1, segundo o fabricante, é um gotejador cilíndrico de vazão regulável, com alta resistência ao entupimento, devido ao mecanismo de auto-limpeza na saída da câmara reguladora de vazão. É resistente a produtos químicos e fertilizantes normalmente usados na agricultura. Um amplo labirinto conduz a água até a câmara de água, onde um sensível diafragma flutuante regula e mantém uma vazão constante frente às variações de pressão.

O modelo M2 está disponível em vazões de 1,3; 1,6 ou 2,6 L h⁻¹, em qualquer intervalo de espaçamento e apresenta um coeficiente de variação devido ao processo de fabricação (CV) de 0,013.

O modelo M3, segundo o fabricante, possui longa duração, baixa sensibilidade a entupimento e amplas passagens de água, permitindo-o trabalhar com água de qualidade inferior, mantendo a vazão uniforme entre 50 e 400 KPa, possibilitando linhas laterais de larga extensão. As características aqui citadas foram retiradas dos catálogos dos fabricantes.

3.3.2. Descrição do delineamento experimental

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, sendo nas parcelas um fatorial 3 x 4 (3 níveis de modelos de tubogotejadores e 4 níveis de doses de cloro livre) e nas subparcelas 8 tempos de funcionamento (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 e 700 h), no delineamento inteiramente casualizado com três repetições.

Os níveis de dose de cloro livre em cada unidade de irrigação foram assim denominados:

- Nível 1 (N1): irrigação com água ferruginosa (testemunha);
- Nível 2 (N2): irrigação com água ferruginosa e cloração (15 mg L⁻¹ de cloro livre);

- Nível 3 (N3): irrigação com água ferruginosa e cloração (30 mg L⁻¹ de cloro livre);
- Nível 4 (N4): irrigação com água ferruginosa e cloração (45 mg L⁻¹ de cloro livre).

3.4. Aplicação de dicloroisocianurato de sódio (65%)

A cloração foi realizada após cada avaliação de uniformidade do sistema, a cada 100 h de operação, utilizando-se dicloroisocianurato de sódio (65%) como fonte de cloro.

O produto era diluído em um balde plástico graduado e posteriormente aplicado na tubulação a uma taxa de injeção de 10 L h⁻¹, por um injetor de fertilizantes tipo Venturi (Figura 2).



Figura 2 – Aplicação do dicloroisocianurato de sódio (65%) utilizando o injetor venturi.

O cloro residual livre foi medido no final das linhas laterais com kit colorimétrico modelo CN – 66 F, em amostras de 5 mL com reagente específico, DPD reativo para cloro livre. Este monitoramento foi baseado no princípio de que todo o cloro reage com compostos presentes na água, incluindo a ação sobre bactérias do biofilme e a concentração restante representa uma margem de segurança residual das reações. Realizavam-se medições no início (10 mim), no meio (30 mim) e próximo ao final da aplicação (50 min) para a obtenção de um valor médio, quando se fazia também a determinação do pH da água.

Após a aplicação do cloro, a válvula de cada linha lateral era fechada, deixando-se a solução agir por 12 h e, no dia seguinte, realizava-se uma nova avaliação da uniformidade, a fim de avaliar o efeito da cloração.

3.5. Avaliação da uniformidade de aplicação de água

Foram selecionados 12 emissores por linha, para cada modelo e nível de cloração, totalizando 432 tubogotejadores avaliados, dos quais foram medidas as vazões para a determinação da uniformidade.

O volume de água aplicado pelo tubogotejador, durante três minutos, era coletado em um copo e posteriormente medido em provetas de 250 mL. A vazão foi determinada utilizando-se a Equação 1.

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

em que:

q = vazão do tubogotejador, L h⁻¹;

V = volume de água coletado, mL;

t = tempo de coleta, mim.

No cálculo da uniformidade de aplicação foram utilizados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), de Distribuição (CUD) e Estatístico (Us), de acordo com as equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n q_m} \right) \quad (2)$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

q_i = vazão de cada emissor, $L h^{-1}$;

q_m = vazão média dos emissores, $L h^{-1}$; e

n = número de emissores avaliados.

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (3)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$q_{25\%}$ = média dos 25% menores valores de vazão observados, $L h^{-1}$;

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

$$U_s = 100(1 - CVq) = 100 \left(1 - \frac{\sigma_q}{qm} \right) \quad (4)$$

em que:

CVq = coeficiente de variação da vazão do emissor;

σ_q = desvio-padrão da vazão do emissor;

qm = vazão média dos emissores, $L h^{-1}$.

Para facilitar a avaliação, confeccionaram-se quatro tábuas onde foram encaixados nove copos, que coletavam o volume de água de 36 tubogotejadores ao mesmo tempo, como pode ser visto na Figura 3.



Figura 3 - Vista da avaliação da uniformidade de aplicação de água no sistema de irrigação por gotejamento abastecido com água ferruginosa.

3.6 Identificação das ferrobactérias causadoras do entupimento

Para identificar os gêneros de ferrobactérias causadoras do entupimento, foram coletadas e enviadas ao laboratório amostras da mucilagem que se depositaram no interior das tubulações. Em cada nível foram coletados 10 cm de mangueira, dos três modelos de tubogotejadores. As amostras foram guardadas em geladeira a uma temperatura de 2 e 8°C, durante 20 h. Após este período foram vedadas com filme plástico, identificadas e enviadas para o laboratório.

As análises seguiram a metodologia do Standard Methods (2005) e de Lueschow e Mackenthun (1962). A preparação das amostras foi realizada pela passagem de 100 mL de água estéril pelo interior dos pedaços de

mangueira e confecção de lâminas para microscopia de campo com e sem coloração com ferrocianeto de potássio.

3.7. Análise estatística

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, sendo nas parcelas um fatorial 3 x 4 (3 modelos de tubogotejadores e 4 doses de cloro livre) e nas subparcelas os tempos de funcionamento (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 e 700 horas), no delineamento inteiramente casualizado com três repetições.

Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, aplicando-se o teste “t” adotando um nível de até 10% no coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação da qualidade da água utilizada na irrigação

No quadro 2, estão apresentados os resultados da análise da qualidade da água utilizada no experimento.

Quadro 2 – Concentração de cobre, manganês total, ferro total, zinco, cálcio, magnésio, sódio, enxofre, potássio, pH e condutividade elétrica da água utilizada no experimento

Cu	Mn	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	S	K	pH	CE
(mg L ⁻¹)										(μ s cm ⁻¹)
0,013	0,214	2,373	0,106	6,201	2,18	11,0	8,2	1,85	7,03	83,7

Verifica-se no Quadro 2 que a água utilizada para a irrigação apresentou 2,373 mg L⁻¹ de ferro total, valor superior ao limite de 1,5 mg L⁻¹ proposto por Bucks et al. (1979), sendo, portanto, de risco severo para a

irrigação por gotejamento. A concentração de 0,214 mg L⁻¹ de manganês permite classificá-la como de risco moderado.

As avaliações semanais (Quadro 3) indicaram que a água utilizada no experimento apresentou valores de ferro total superior ao limite de 1,5 mg L⁻¹ durante todo o período do ensaio, chegando a apresentar até 5 mg L⁻¹ na quinta avaliação, sendo então classificada como de risco severo para a irrigação por gotejamento. Os valores mais altos de ferro total ocorreram nas semanas em que a lagoa estava mais vazia.

Observa-se, no Quadro 3, que todos os valores de temperatura da água estão na faixa de 20 a 30°C, estabelecida por Pizarro (1996) como ótima para o desenvolvimento de bactérias.

Os valores de pH da água mantiveram-se entre 6,7 e 7,5 durante todo o período do ensaio, constatando-se que o produto não requer a aplicação de ácidos para manter o pH em faixas que aumentem a ação do ácido hipocloroso (Quadro 3).

Quadro 3 – Resultados do ferro total (mg L⁻¹), temperatura (°C), pH da água no ponto de captação e pH medido no final das linhas laterais nos Níveis N2, N3 e N4, no período de 29/06 a 09/08 de 2006

Data	Fe total (mgL ⁻¹)	Temperatura (°C)	pH da água na captação	pH nas linhas laterais		
				N2	N3	N4
29/6/2006	3,5	22	7	7,1	7,1	7,1
5/7/2006	3	23	7	6,9	6,9	6,9
12/7/2006	3	22	6,8	6,8	6,8	6,8
19/7/2006	3,5	22	6,8	6,75	6,7	6,7
27/7/2006	5	21,5	6,9	6,8	6,8	6,7
2/8/2006	3	23	7	6,8	6,7	6,8
9/8/2006	4	22	7	6,9	6,8	6,8
Média	3,57	22,21	6,93	6,86	6,83	6,83
Desvio-padrão	0,6776	0,5249	0,0881	0,1093	0,1278	0,1278
CV (%)	0,1897	0,0236	0,0127	0,0159	0,0187	0,0187
Classificação	Severo		nenhum			

[†] Classificação proposta por Bucks et al. (1979), para o risco de entupimento de gotejadores.

4.2. Identificação de Ferrobactérias

As análises de laboratório identificaram os gêneros *Gallionella* e *Leptothrix*, constatando-se a presença de 1 a 10 filamentos/células em todas as amostras. Na Figura 4 estão apresentadas as ferrobactérias identificadas nos tubogotejadores utilizados no experimento.

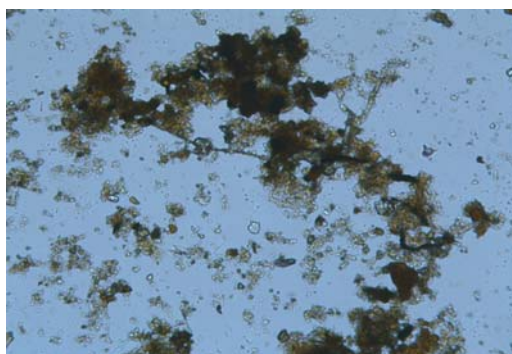


Figura 4 – Imagens das ferrobactérias identificadas nos tubogotejadores.

Gallionella é gênero de ferrobactéria bacilar, que forma feixes de hidróxido férrico a partir de compostos inorgânicos ferrosos. É quimiolitotrófica, desenvolvendo-se em ausência de luz, à temperatura próxima a 20°C. Como se verificou no Quadro 3, a temperatura média da água utilizado no experimento foi de 22,21°C, valor compreendido na faixa ótima para o desenvolvimento de bactérias. *Leptothrix* é gênero de ferrobactéria bacilar, formando filamentos embainhados onde depositam mucilagem e resíduos metabólicos. É quimiorganotrófica, oxidam compostos orgânicos ferrosos a férricos, precipitando-os e formando flocos que também entopem filtros e canalizações.

A atividade biológica destas bactérias conduz a formação de hidróxidos férricos insolúveis, dos quais, parte é englobada na membrana celular da bactéria e parte precipita no meio envolvente, sob a forma de glóbulos. Este processo leva à formação de uma massa gelatinosa

vermelho-acastanhada, viscosa, com aspecto ferruginoso. É essa mucilagem que se adere à tubulação, conduzindo, conseqüentemente, à diminuição da vazão dos emissores, como observado na Figura 5.

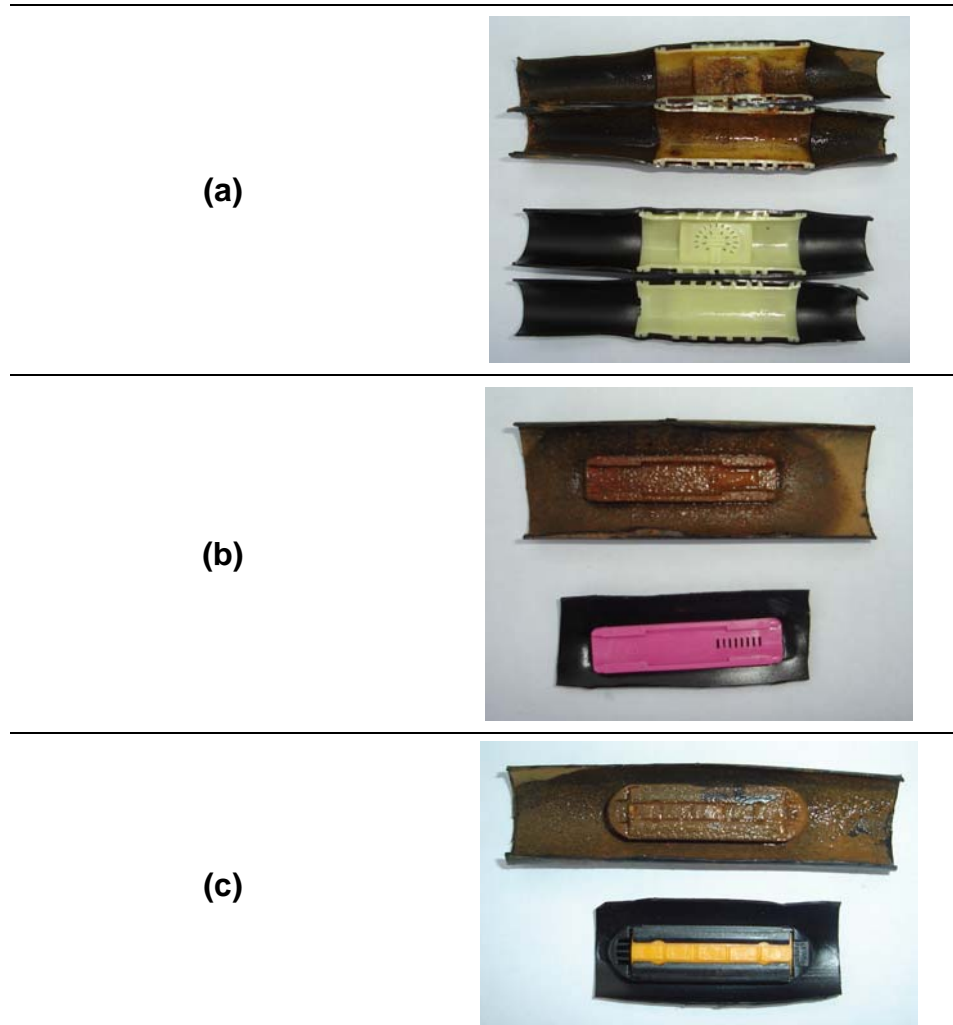


Figura 5 – Modelos de tubogotejadores M1 (a), M2 (b) e M3 (c) novos e após 700 h de funcionamento, com a presença de mucilagem formada pelas ferrobactérias.

4.3. Uniformidade de aplicação de água

4.3.1. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC)

Nas Figuras 6, 7, 8 e 9, estão apresentados os valores médios de CUC para os tubogotejadores M1, M2 e M3 em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, nos níveis N1, N2, N3 e N4, respectivamente.

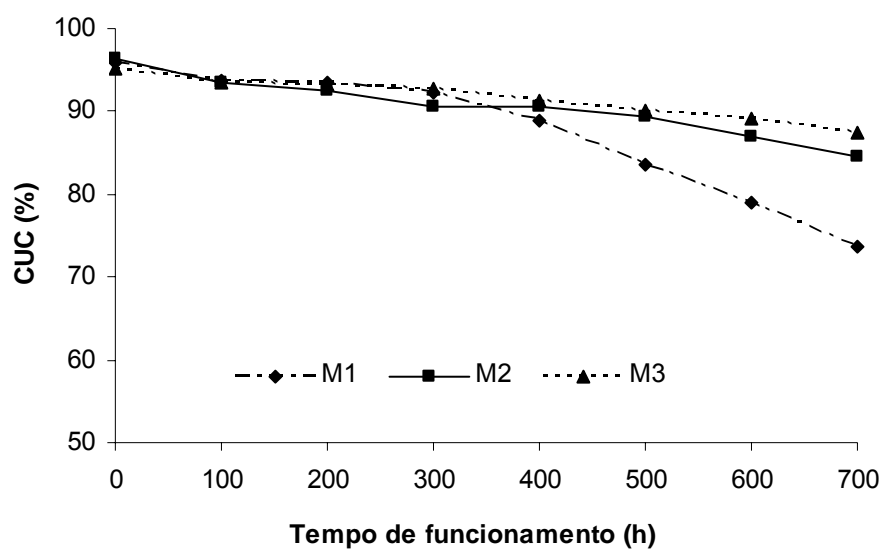


Figura 6 - Valores médios de CUC, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.

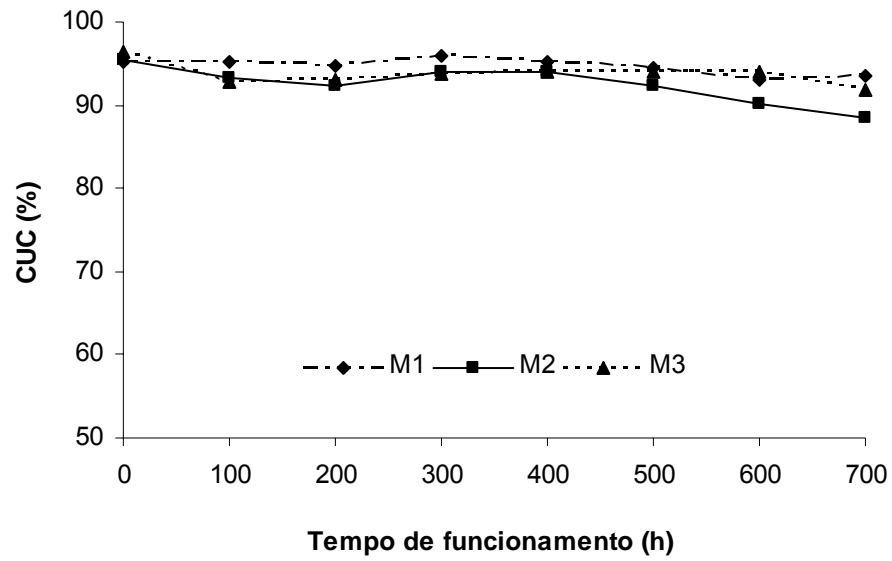


Figura 7 - Valores médios de CUC, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.

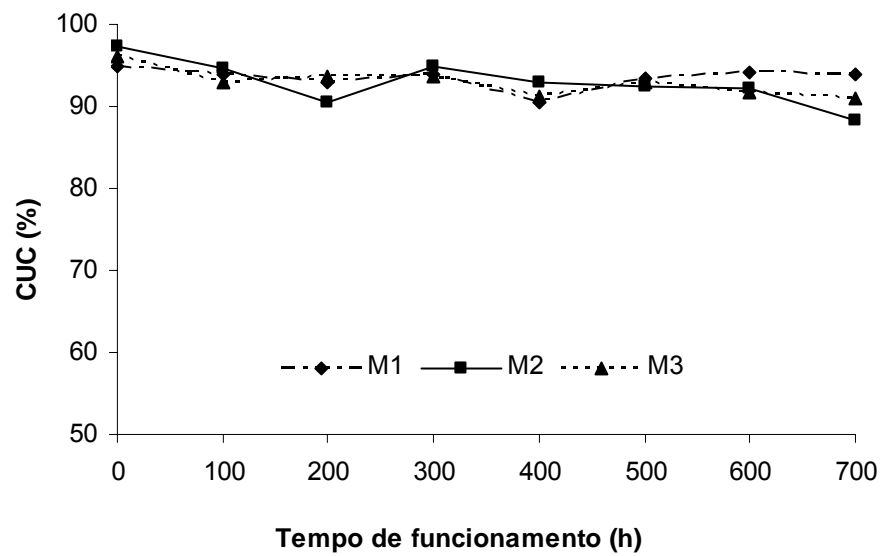


Figura 8 - Valores médios de CUC, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.

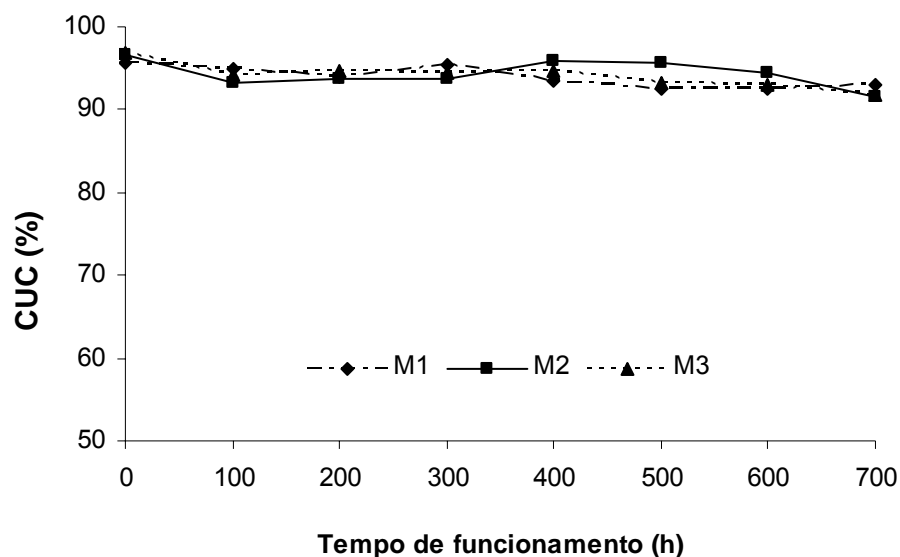


Figura 9 - Valores médios de CUC, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.

Observa-se na Figura 6 que houve redução nos valores médios do CUC, para os três tubogotejadores, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, com a utilização de água ferruginosa. Verificou-se maior redução da uniformidade de aplicação de água no modelo M1. Tal sensibilidade ao entupimento foi atribuída à característica deste gotejador de apresentar duas saídas de água, sendo que uma delas acabava ficando virada para cima, o que permitiu maior acúmulo de mucilagem na câmara de autocompensação, conforme observado em campo. O CUC para o modelo M1 foi de 95,8%, o que permite classificar o sistema como excelente no início das avaliações, mas apresentou redução de 23% no seu valor, passando a ser classificado como razoável (73,75%), na última avaliação. Os valores médios do CUC para os modelos M2 e M3 apresentaram reduções de até 12,3 e 8,2%, respectivamente, proporcionando uma mudança na classificação de excelente para bom.

Segundo Mantovani e Ramos (1994), quanto maior o valor do CUC, menor é a lâmina de irrigação necessária para alcançar a produtividade máxima e de acordo com Bernardo et al., (2006), o limite mínimo de

Coefficiente de Uniformidade de Christiansen aceitável em um sistema de irrigação por gotejamento é de 80%.

O uso do dicloisocianurato de sódio manteve os valores médios do CUC sempre acima de 90%, nos modelos M1 e M3, classificados como excelentes, durante todo o período do experimento, como apresentado nas Figuras 7, 8 e 9. Para o modelo M2, nos Níveis N2 e N3, o CUC passou de excelente para bom, confirmando a maior sensibilidade ao entupimento apresentada por este modelo. Batista et al. (2006), também observaram que somente filtragem com filtro de disco de 120 mesh não previne a obstrução de gotejadores.

O Nível N4 foi o que proporcionou a maior uniformidade do CUC ao longo do tempo de funcionamento, mantendo-o acima de 90% para os três modelos de tubogotejadores, tendo, portanto, a classificação excelente.

Resultados semelhantes foram encontrados por English (1985), que recomenda para um tratamento preventivo de bactérias formadoras de mucilagem, efetuar-se uma cloração em base contínua, a uma taxa de aplicação de 1 a 2 mg L⁻¹, ou semanalmente, a uma concentração de 10 a 20 mg L⁻¹, por 30 a 60 minutos, sendo que esta última dosagem é também sugerida pelo autor para o tratamento de algas.

Os resultados da análise de variância dos valores do CUC estão apresentados no Quadro 1A do Apêndice.

4.3.2. Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

Estão apresentados nas Figuras 10, 11, 12 e 13 os valores médios do CUD para os tubogotejadores M1, M2 e M3, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação nos níveis N1, N2, N3 e N4, respectivamente.

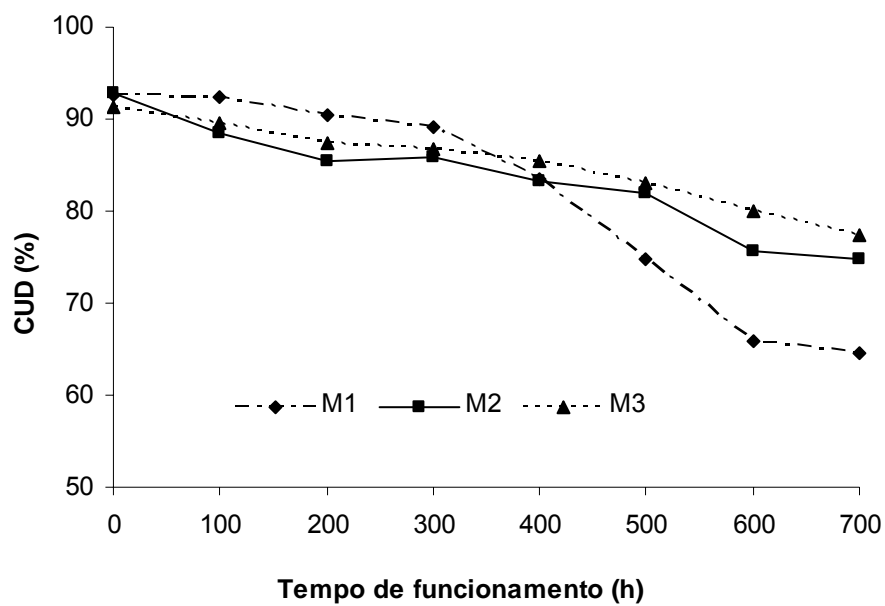


Figura 10 - Valores médios de CUD, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.

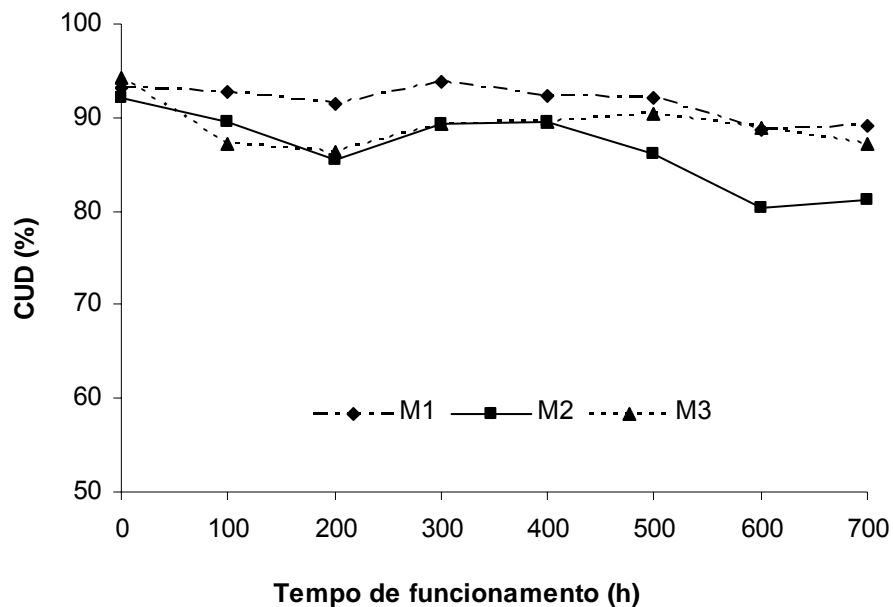


Figura 11 - Valores médios de CUD, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.

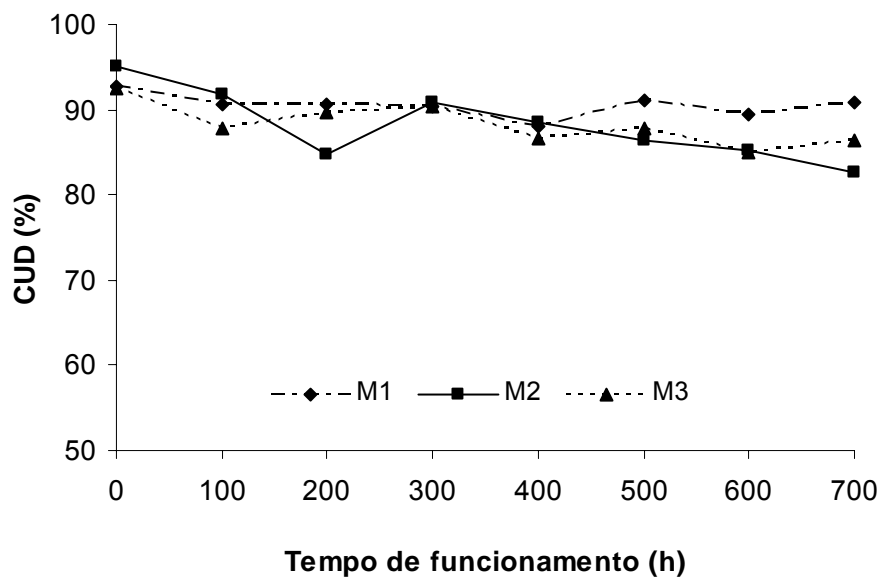


Figura 12 - Valores médios de CUD, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.

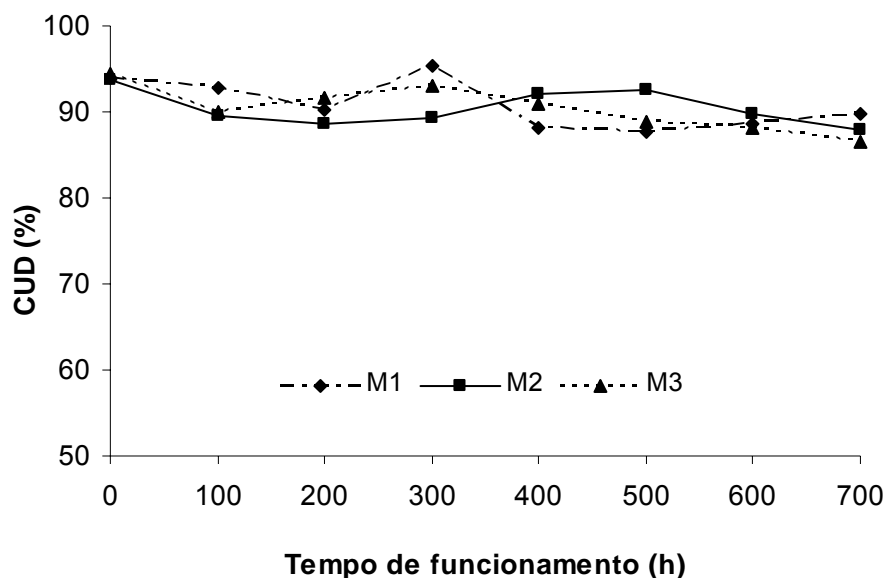


Figura 13 - Valores médios de CUD, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.

O CUD mostrou-se mais sensível às variações da uniformidade de aplicação de água pelo efeito do entupimento que o CUC, como era de se esperar, pois, em seu cálculo, utilizam-se os valores médios dos 25% menores valores das vazões.

Na unidade de irrigação que não recebeu dicloro (N1), observou-se que os valores médios do CUD, decresceram com o aumento do tempo de funcionamento, como observado na Figura 10, para todos os modelos de gotejadores. Na primeira avaliação, os valores médios do CUD permitiram a classificação excelente para os três modelos. No entanto, na última avaliação os valores médios de CUD foram de 64,65; 74,74; e 77,45% para os modelos M1, M2 e M3, classificação ruim, regular e regular, respectivamente. Estabelecendo comparação entre a primeira e última avaliação, constataram-se reduções nos valores do CUD de 30,2; 19,5; e 15,17% para os modelos M1, M2 e M3, respectivamente. Observa-se novamente queda acentuada para o modelo M1 a partir de 300h.

Observam-se pelas Figuras 10, 11 e 12 que os modelos M2 e M3 classificaram-se como excelentes na primeira avaliação, mas na última foram classificados como bons, demonstrando o maior rigor deste

coeficiente, em comparação com o CUC. Verificou-se que o modelo M1 manteve a classificação excelente durante quase todas as avaliações, indicando que o produto é capaz de promover a limpeza das linhas de irrigação e permitir o uso de águas com elevado teor de ferro total em irrigação por gotejamento. Batista (2004) obteve resultados semelhantes com o uso do dicloro sobre o entupimento de gotejadores aplicando esgoto sanitário tratado.

No Quadro 2A do Apêndice estão apresentados os resultados da análise de variância dos valores de CUD.

4.3.3. Coeficiente de uniformidade estatística (Us)

Nas Figuras 14, 15, 16 e 17, estão apresentados os valores médios de Us para os modelos de tubogotejadores M1, M2 e M3 em função do tempo de funcionamento, nos níveis N1, N2, N3 e N4, respectivamente.

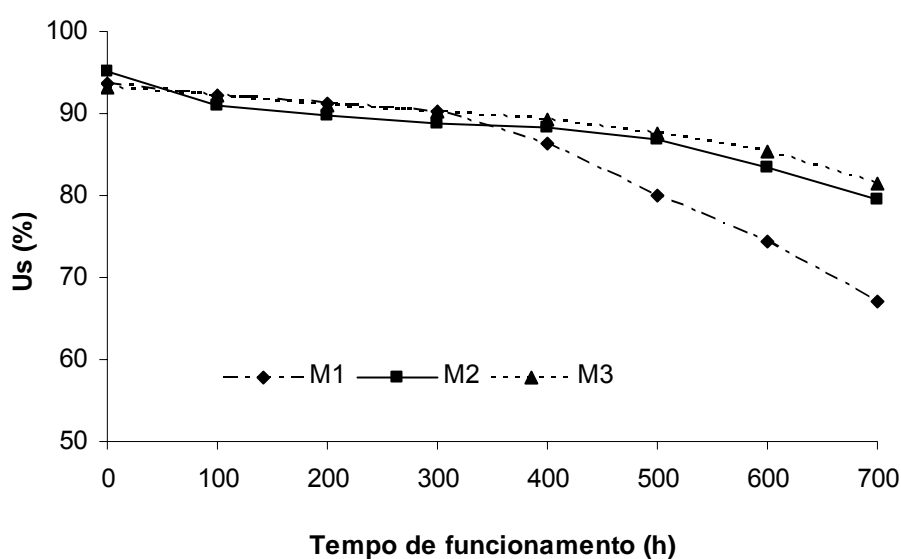


Figura 14 - Valores médios de Us, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.

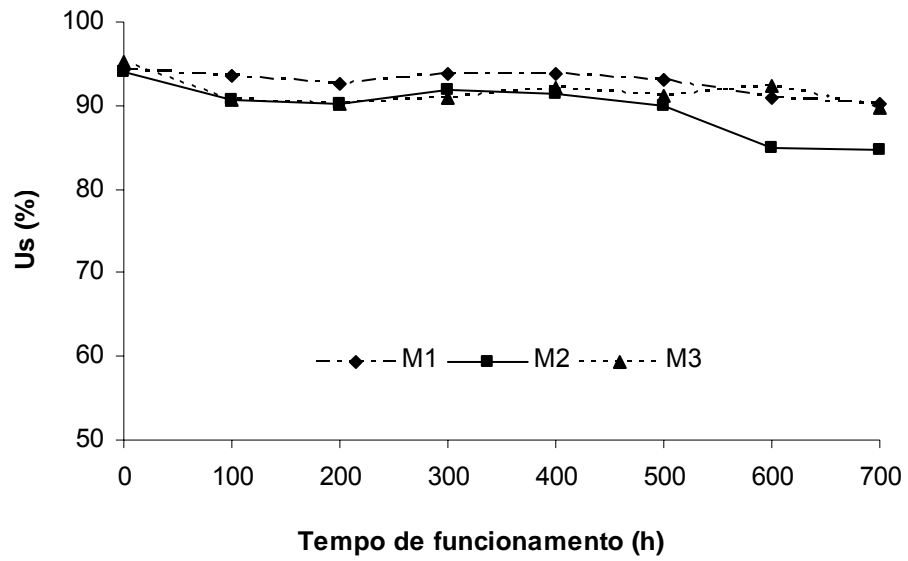


Figura 15 - Valores médios de Us, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.

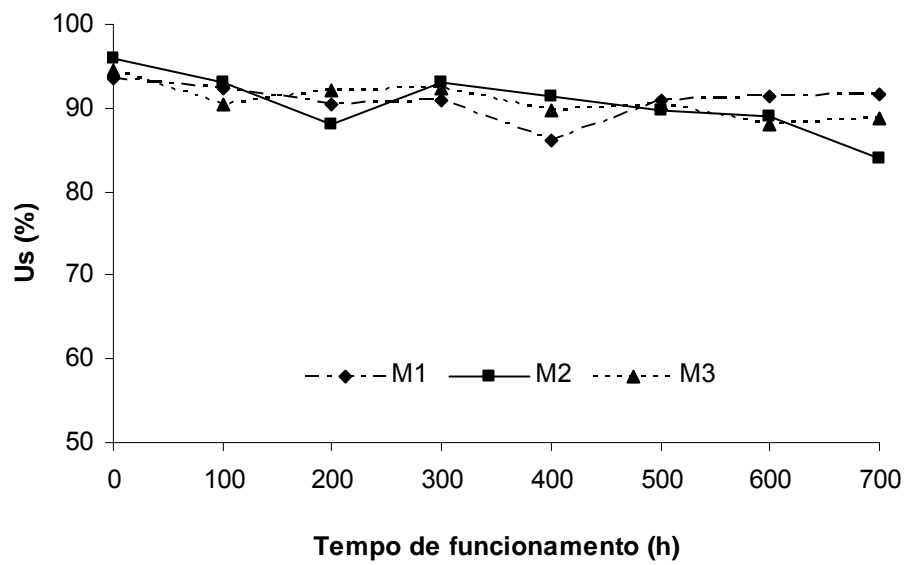


Figura 16 - Valores médios de Us, para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.

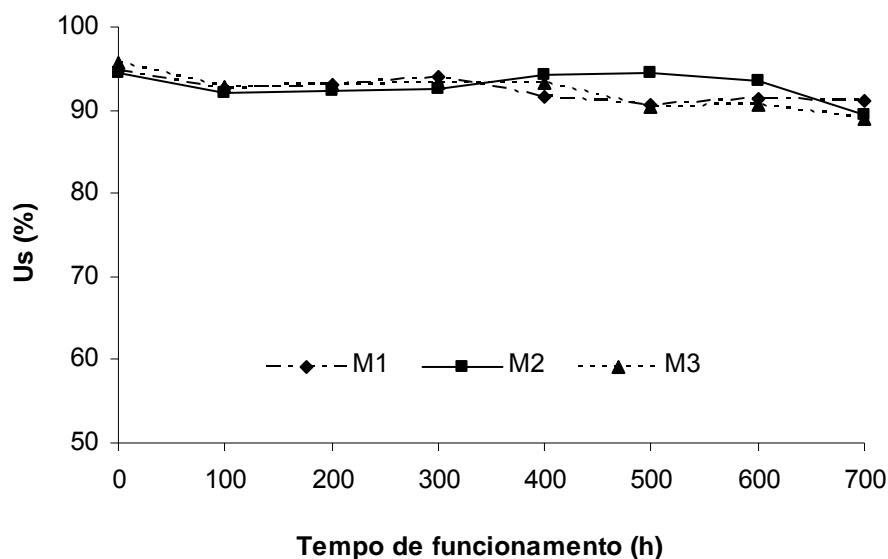


Figura 17 - Valores médios de U_s , para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.

Observa-se na Figura 14, que para todos os modelos de tubogotejadores houve redução do coeficiente de uniformidade estatístico (U_s) no Nível N1. O Modelo M1 apresentou valor de U_s de 93,76% na primeira avaliação, classificando-se como excelente de acordo com Favetta e Botrel (2001), mas na última avaliação esse valor caiu para 67,18%, indicando uma redução de 28,35% na uniformidade. Estabelecendo comparação entre os tempos de funcionamento de 0 e 700 horas, verificaram-se reduções de 16,25 e 12,5% no valor de U_s dos modelos M2 e M3, respectivamente, como pode ser verificado na Figura 14.

Nas unidades de irrigação que receberam o tratamento químico, observou-se que para todos os modelos de tubogotejadores foram mantidos altos valores de U_s , permitindo classificações excelentes a muito bom. No Nível N4, o produto manteve a classificação excelente durante todo o período de funcionamento do sistema, como verificado nas Figuras 15, 16 e 17.

Estão apresentados no Quadro 3A do Apêndice os resultados da análise de variância dos valores de U_s .

4.3.4. Vazão dos tubogotejadores

Nas Figuras 18, 19, 20 e 21 estão apresentados os valores médios das vazões dos tubogotejadores M1, M2 e M3, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, respectivamente.

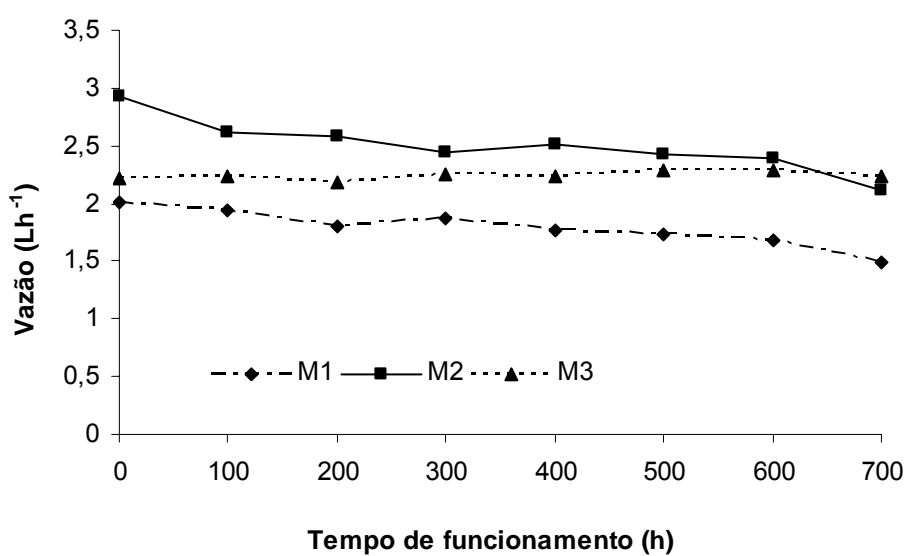


Figura 18 – Valores médios de vazão para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.

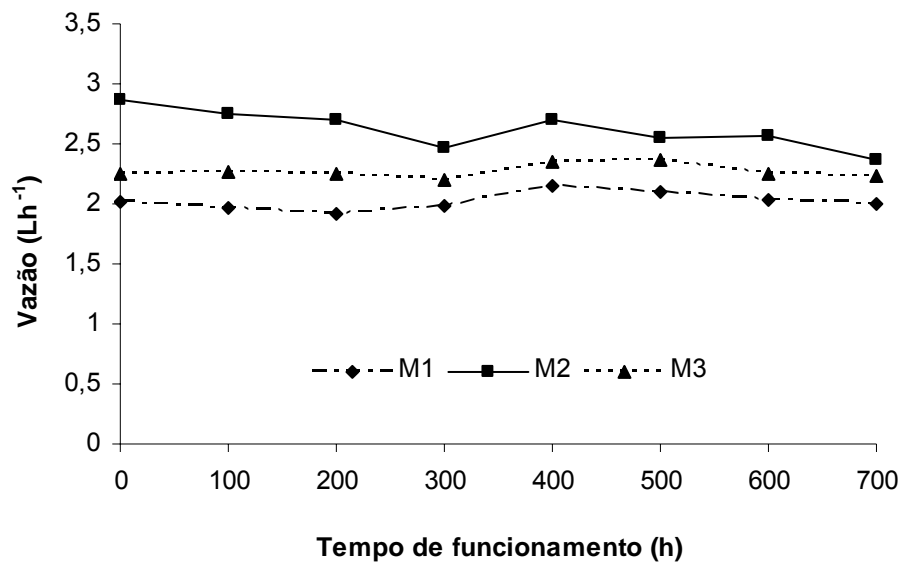


Figura 19 - Valores médios de vazão para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.

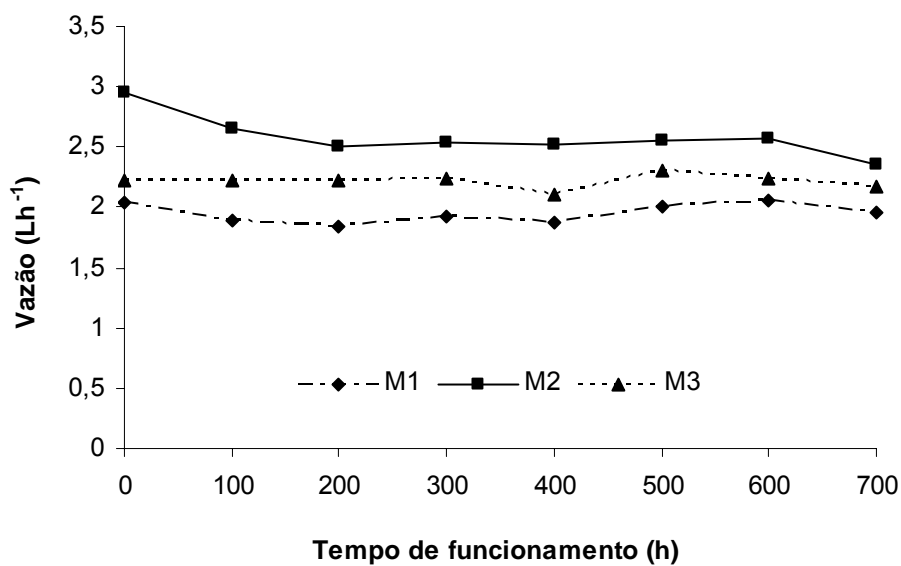


Figura 20 - Valores médios de vazão para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.

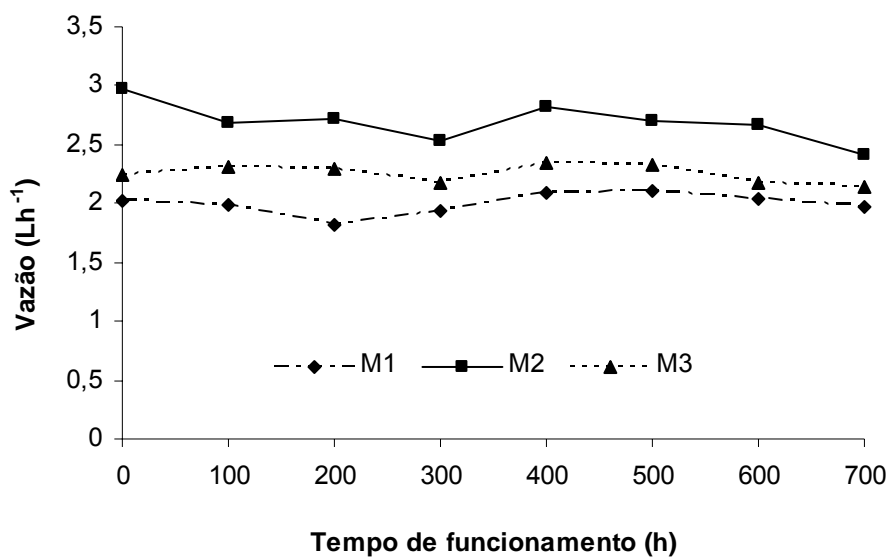


Figura 21 - Valores médios de vazão para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.

Verifica-se na Figura 18, que os tubogotejadores M1 e M2 apresentaram queda nas vazões médias no nível N1, que não recebeu tratamento com dicloro, com redução na vazão de 26,13 e 27,4%, respectivamente. O modelo M3 apresentou uma tendência de aumentar sua vazão quando entupido, tendo um incremento em torno de 1%. Tal resultado está em concordância com os obtidos por Cordeiro (2002), que observou este mesmo comportamento neste gotejador, em pesquisa de laboratório, e por Souza (2006), em condições de campo.

Segundo Gilbert e Ford (1986), estudos estatísticos mostram que o entupimento dos emissores tem sido a maior causa de variação de vazão nos sistemas de irrigação localizada. Problemas de desuniformidade de vazão também estão relacionados ao aumento da vazão nominal do gotejador, devido à deposição de materiais na membrana flexível dos gotejadores auto-compensantes, assim como pela deterioração da mesma (Gilbert et al, 1981).

Nas Figuras 19, 20 e 21, verificou-se que os modelos M1 e M3 apresentaram tendência em manter os valores médios da vazão obtidos em todas as avaliações. O modelo M2 foi o que apresentou maior redução da

vazão, mesmo recebendo tratamento químico. O fato deste modelo ser não-autocompensante contribui para maior variação da vazão ao longo do tempo de funcionamento, mesmo com a presença da válvula reguladora de pressão, pois devido à qualidade da água, o filtro necessita de constantes lavagens, ocasionando interferências na pressão.

A análise de variância dos valores de vazão dos gotejadores está apresentada no Quadro 4A do Apêndice.

4.3.5. Coeficiente de variação da vazão (CVq)

Nas Figuras 22, 23, 24 e 25 apresentam-se os valores médios dos coeficientes de variação da vazão (CVq), para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, respectivamente.

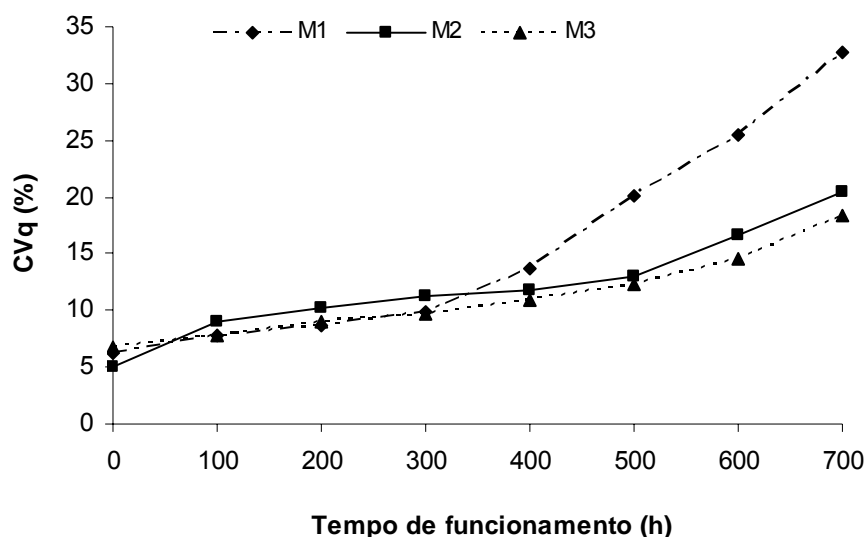


Figura 22 – Valores médios do coeficiente de variação da vazão (CVq) para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N1.

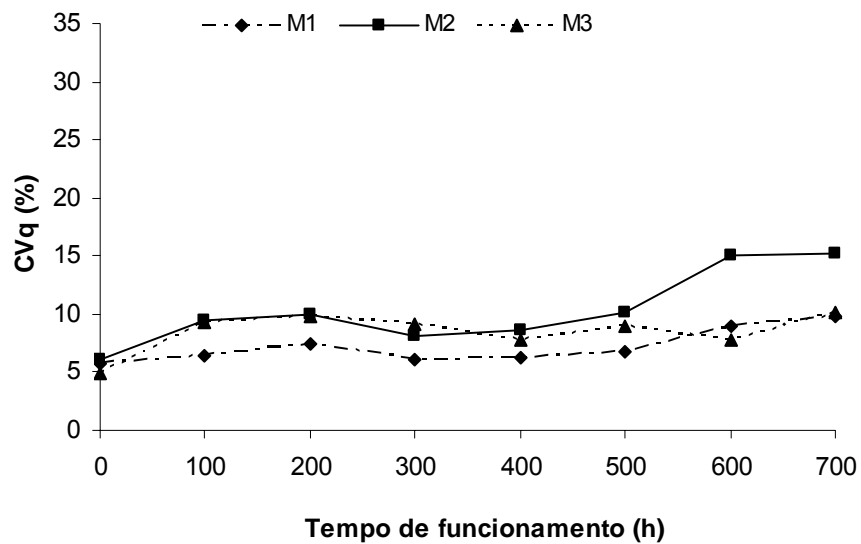


Figura 23 - Valores médios do coeficiente de variação da vazão (CVq) para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N2.

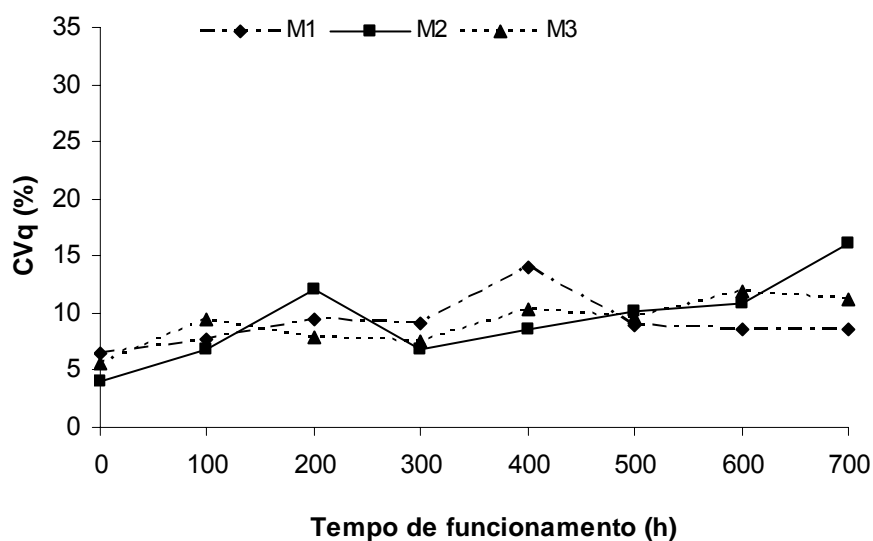


Figura 24 - Valores médios do coeficiente de variação da vazão (CVq) para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N3.

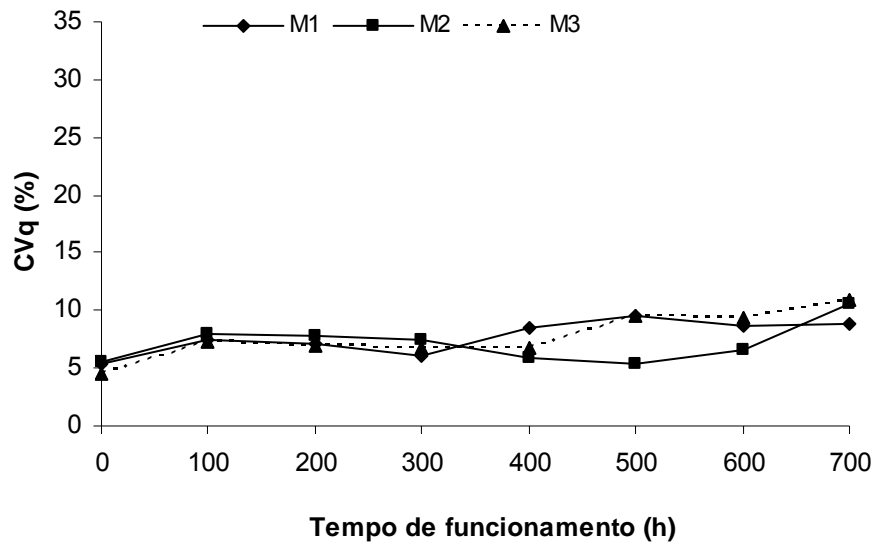


Figura 25 - Valores médios do coeficiente de variação da vazão (CVq) para os tubogotejadores M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento, no Nível N4.

Observa-se na Figura 22, que o tubogotejador M1 mostrou-se mais sensível ao CVq devido ao maior entupimento, passando de um CVq de 6,24% no início do experimento, para 32,81% após 700 h de funcionamento. Constata-se na Figura 22 que a partir de 400 h, o CVq aumentou mais rapidamente, passando de 4,98 e 6,8% para 20,43 e 18,43%, para os modelos M2 e M3, respectivamente.

Conforme apresentado nas Figuras 23, 24 e 25, verifica-se que o CVq dos três modelos de gotejadores variou menos ao longo do tempo de funcionamento do sistema, demonstrando respostas favoráveis dos três modelos aos tratamentos químicos dos Níveis N2, N3 e N4. Tal redução mostrou-se mais acentuada no Nível N4.

No Quadro 5A do Apêndice estão apresentados, os resultados da análise de variância dos valores do CVq.

4.3.6. Análise Estatística dos Resultados

Estão apresentados no Quadro 4 o resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e valores médios do CUC, CUD, Us, vazão e CVq, para os modelos de tubogotejadores M1, M2 e M3.

Quadro 4 – Teste de média e valores médios do CUC, CUD, Us, vazão e CVq, para os modelos de tubogotejadores M1, M2 e M3

Variável dependente	Nível	Modelos		
		M1	M2	M3
CUC	N1	86,36 Bb	90,18 Ab	91,25 Ab
	N2	95,21 Aa	94,01 Ba	94,94 ABa
	N3	94,31 Aa	94,26 Aa	93,97 Aa
	N4	94,70 Aa	95,11 Aa	94,66 Aa
CUD	N1	79,29 Bb	82,97 Ab	84,25 Ab
	N2	92,81 Aa	89,68 Ba	91,46 Aba
	N3	91,59 Aa	89,63 Aa	90,22 Aa
	N4	92,04 Aa	91,96 Aa	91,43 Aa
Us	N1	82,81 Bb	87,44 Ac	88,12 Ab
	N2	93,97 Aa	91,92 Bb	93,07 Aba
	N3	92,87 Aa	91,89 Ab	92,15 Aa
	N4	83,59 Aa	93,85 Aa	93,21 Aa
Vazão	N1	1,84 Cb	2,52 Ac	2,25 Bb
	N2	2,11 Ca	2,69 Ab	2,30 Ba
	N3	2,08 Ca	2,67 Ab	2,32 Ba
	N4	2,07 Ca	2,74 Aa	2,30 Ba
CVq	N1	0,171 Ab	0,125 Bc	0,118 Bb
	N2	0,060 Ba	0,080 Ab	0,069 ABa
	N3	0,071 Aa	0,081 Ab	0,078 Aa
	N4	0,064 Aa	0,061 Aa	0,067 Aa

* Médias com e mesma letra maiúscula entre linhas e minúscula entre colunas, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para avaliar a influência do entupimento no desempenho dos três tubogotejadores, procedeu-se à análise de regressão no Nível N1, onde não

houve a aplicação do dicloro. Os modelos de regressão que melhor se ajustaram foram o linear e o quadrático. Na Tabela 9 estão apresentadas as equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação, a 1% (**) e 5% (*) de probabilidade, pelo teste “t”.

Tabela 9 – Equações de regressão ajustadas para os modelos M1, M2 e M3, em função do tempo de funcionamento (TF), para as variáveis dependentes CUC, CUD, Us e vazão e seus respectivos coeficientes de determinação (R²)

Variável dependente	Equação de regressão	R ²
M1		
CUC	$\hat{Y} = 95,5504 - 0,0114438^{**}TF - 0,0000304031^{**}TF^2$	0,96
CUD	$\hat{Y} = 93,3705 - 0,0183436^{*}TF - 0,0000456508^{**}TF^2$	0,99
Us	$\hat{Y} = 94,0961 - 0,0119984^{ns}TF - 0,0000413853^{**}TF^2$	0,98
Vazão	$\hat{Y} = 2,0531 - 0,000622354^{**}TF$	0,94
M2		
CUC	$\hat{Y} = 95,3786 - 0,0148374^{**}TF$	0,95
CUD	$\hat{Y} = 91,802 - 0,0252067^{**}TF$	0,93
Us	$\hat{Y} = 94,0964 - 0,019013^{**}TF$	0,95
Vazão	$\hat{Y} = 2,80954 - 0,000806217^{**}TF$	0,87
M3		
CUC	$\hat{Y} = 95,9879 - 0,0106704^{**}TF$	0,97
CUD	$\hat{Y} = 91,3374 - 0,0202238^{**}TF$	0,97
Us	$\hat{Y} = 93,5425 - 0,0154726^{**}TF$	0,94
Vazão	$\hat{Y} = 2,21009 + 0,000367989^{**}TF$	0,75

*, ** - significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste “t”. ns – Não significativo

Verifica-se na Tabela 9 que os valores dos coeficientes de determinação para o modelo M1 variaram de 0,94 a 0,99 confirmando o bom ajuste dos modelos de regressão, aos dados observados, conforme pode ser visto na Figura 26. Para o modelo M2 os valores dos coeficientes de determinação variaram de 0,87 a 0,95. O modelo M3 também apresentou altos valores de coeficientes de determinação, a exceção para a variável dependente vazão (Tabela 9).

Nas Figuras 26, 27 e 28 estão apresentados os valores médios das variáveis dependentes CUC, CUD, Us e vazão e respectivos modelos de regressão para os gotejadores M1, M2 e M3, respectivamente.

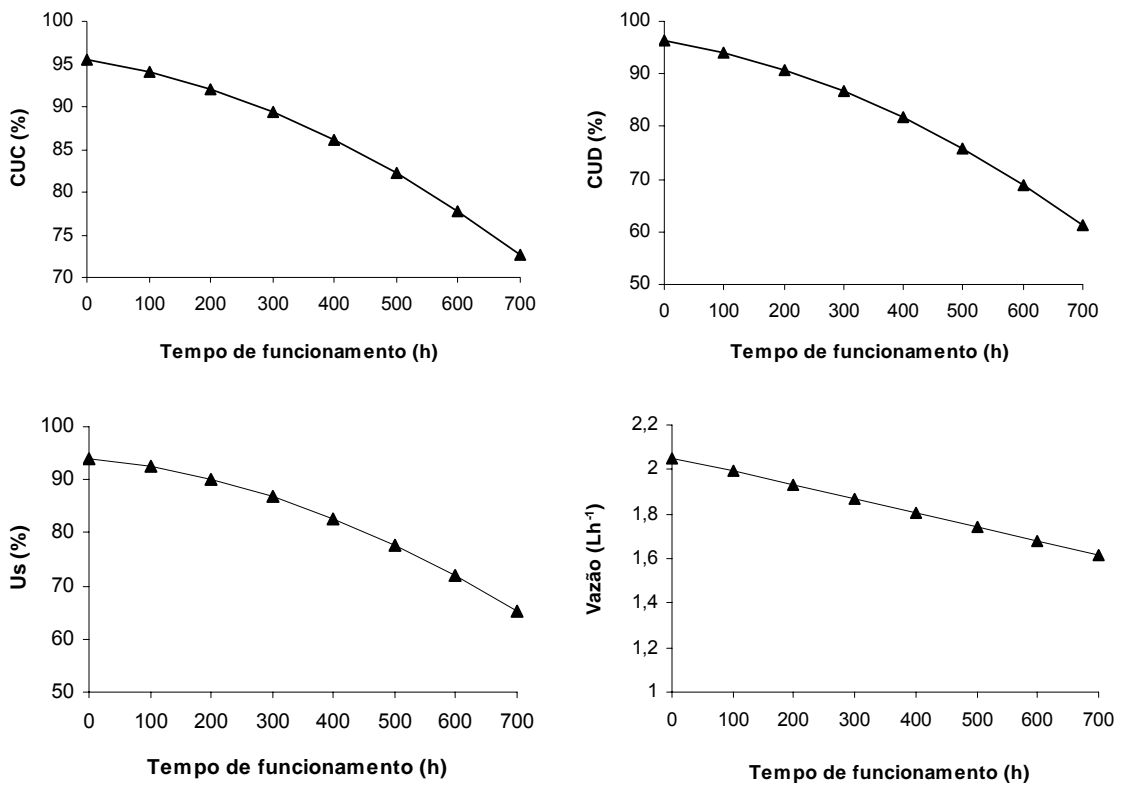


Figura 26 – Estimativas dos valores médios das variáveis dependentes CUC, CUD, Us e vazão em função do tempo de funcionamento, no modelo de tubogotejador M1, no Nível N1.

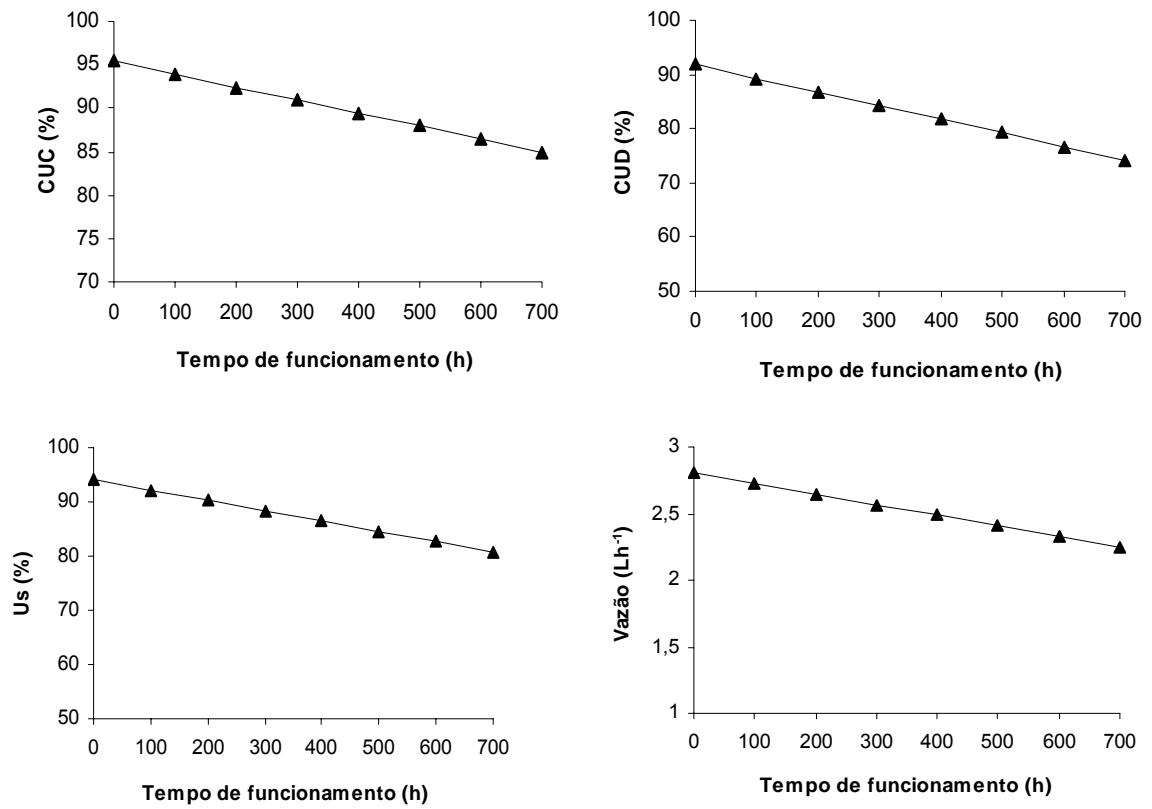


Figura 27 - Estimativas dos valores médios das variáveis dependentes CUC, CUD, Us e vazão em função do tempo de funcionamento, no modelo de tubogotejador M2, no Nível N1.

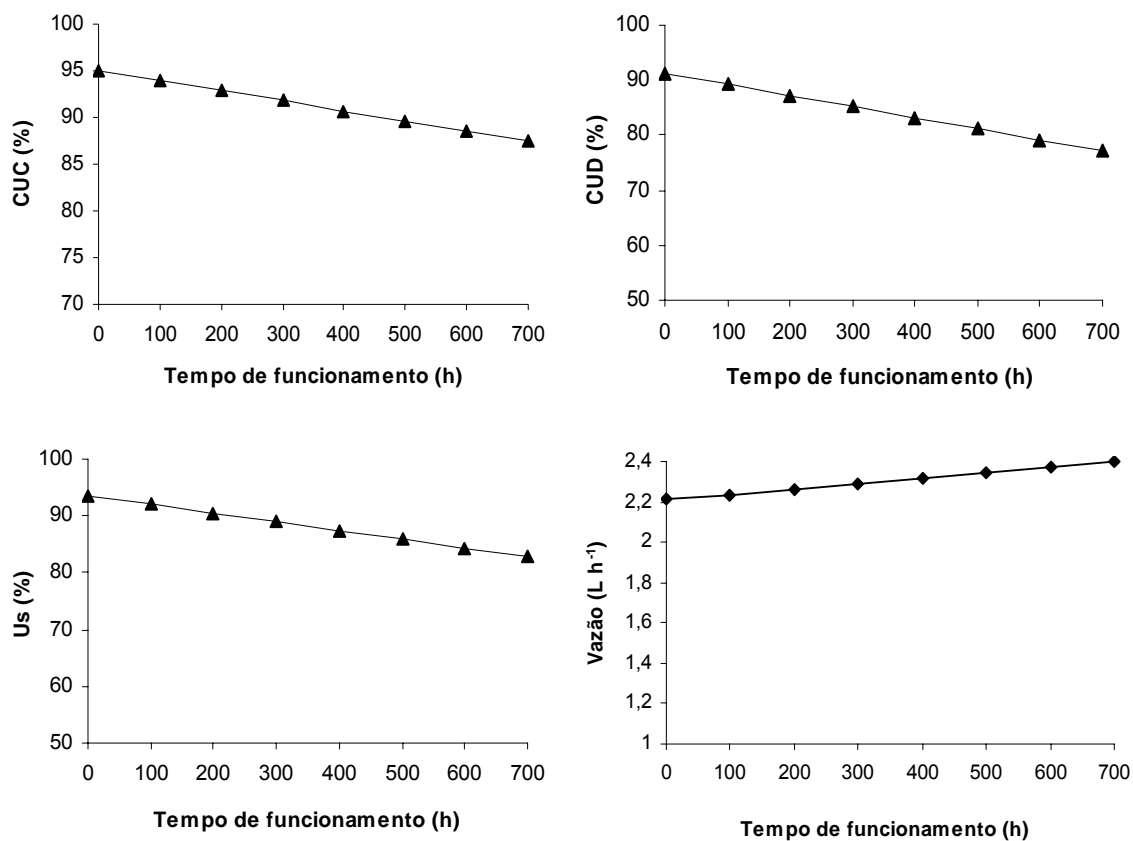


Figura 28 - Estimativas dos valores médios das variáveis dependentes CUC, CUD, Us e vazão em função do tempo de funcionamento, no modelo de tubogotejador M3, no Nível N1.

4.3.7. Reavaliação da Uniformidade

Nas Figuras 29, 30 e 31 estão apresentados os valores médios do CUC, antes e após a cloração, nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para os modelos M1, M2 e M3, respectivamente.

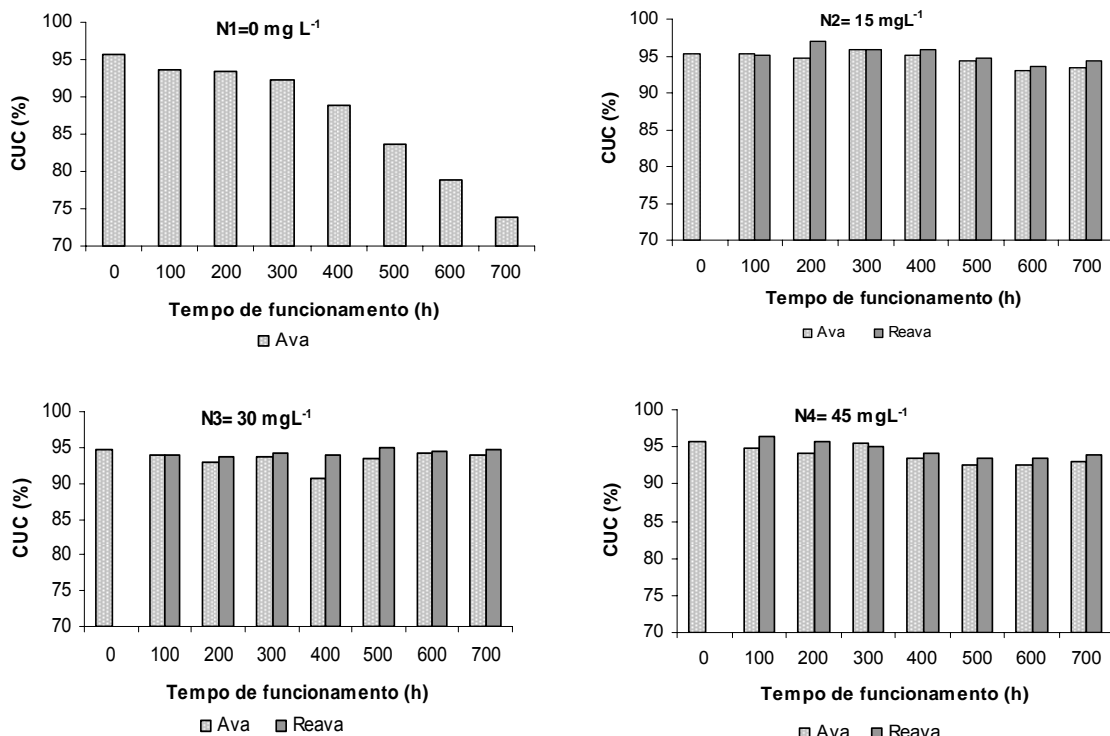


Figura 29 – Valores médios do CUC, antes (Ava) e após a cloração (Reava), nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M1.

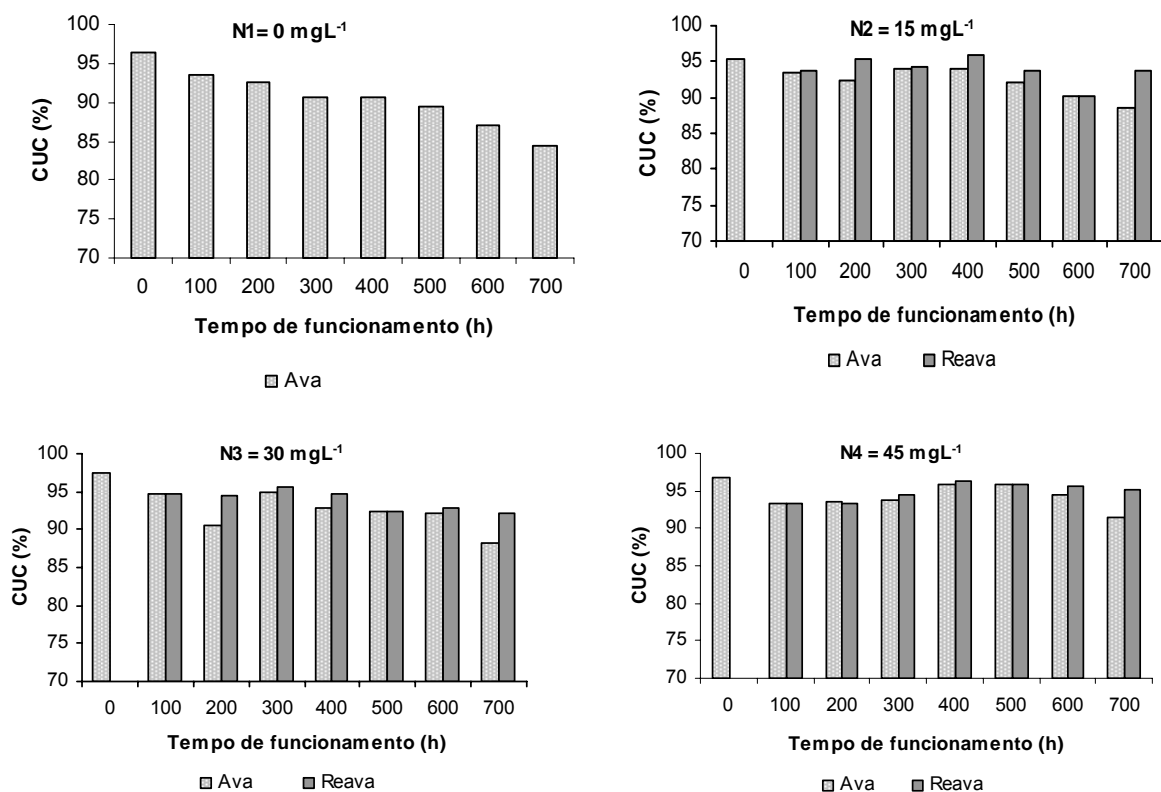


Figura 30 – Valores médios do CUC, antes (Ava) e após a cloração (Reava), nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M2.

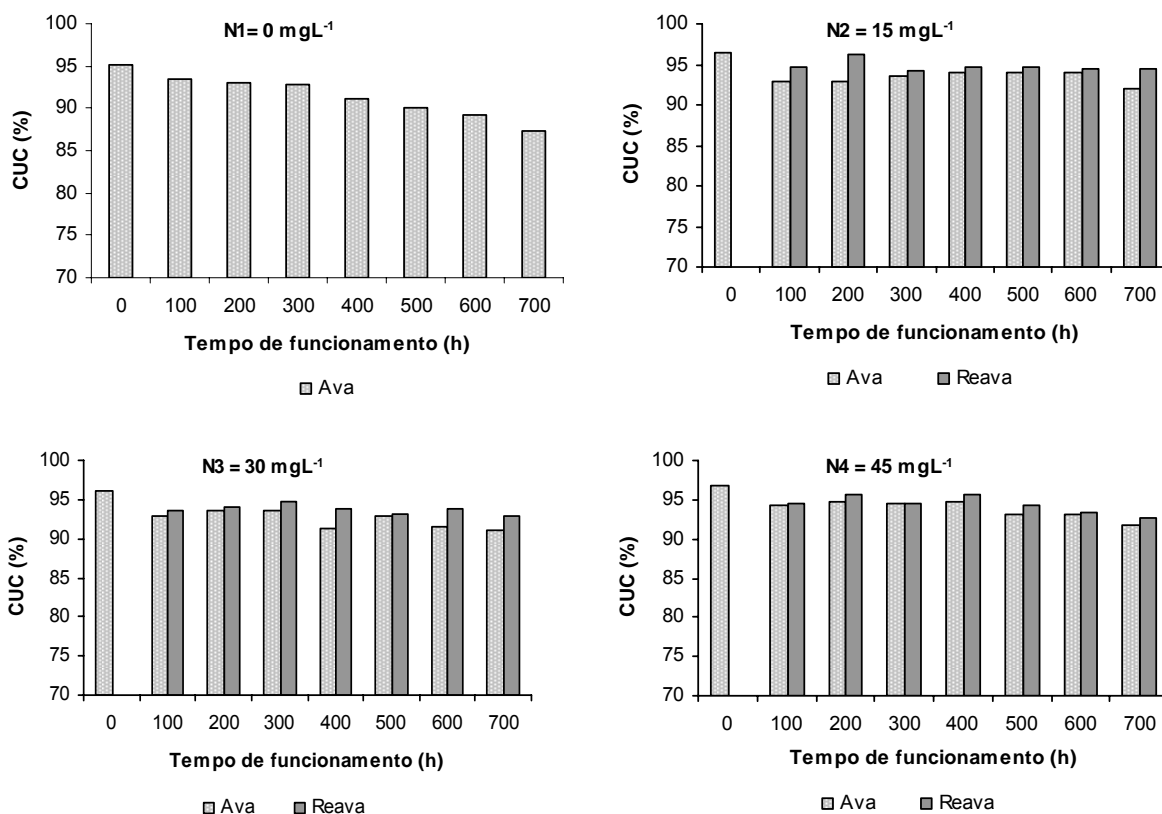


Figura 31 – Valores médios do CUC, antes (Ava) e após a cloração (Reava), nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M3.

Observa-se na Figura 29, que para o modelo M1, o CUC foi decrescendo ao longo do tempo de funcionamento, na subunidade que não recebeu a aplicação do dicloro (N1). Entretanto, nos níveis N2, N3 e N4, a aplicação do cloro orgânico proporcionou melhoria dos valores do CUC, mantendo a uniformidade em faixas adequadas para o funcionamento de sistemas de irrigação por gotejamento.

O mesmo comportamento pode ser observado nas Figuras 30 e 31, para os modelos M2 e M3, onde o tratamento químico permitiu um aumento nos valores do CUC após cada 100 h de funcionamento do sistema.

As Figuras 32, 33 e 34 apresentam os valores médios do CUD, nos Níveis N1, N2 e N3, para os modelos M1, M2 e M3, respectivamente, considerando as reavaliações de uniformidade.

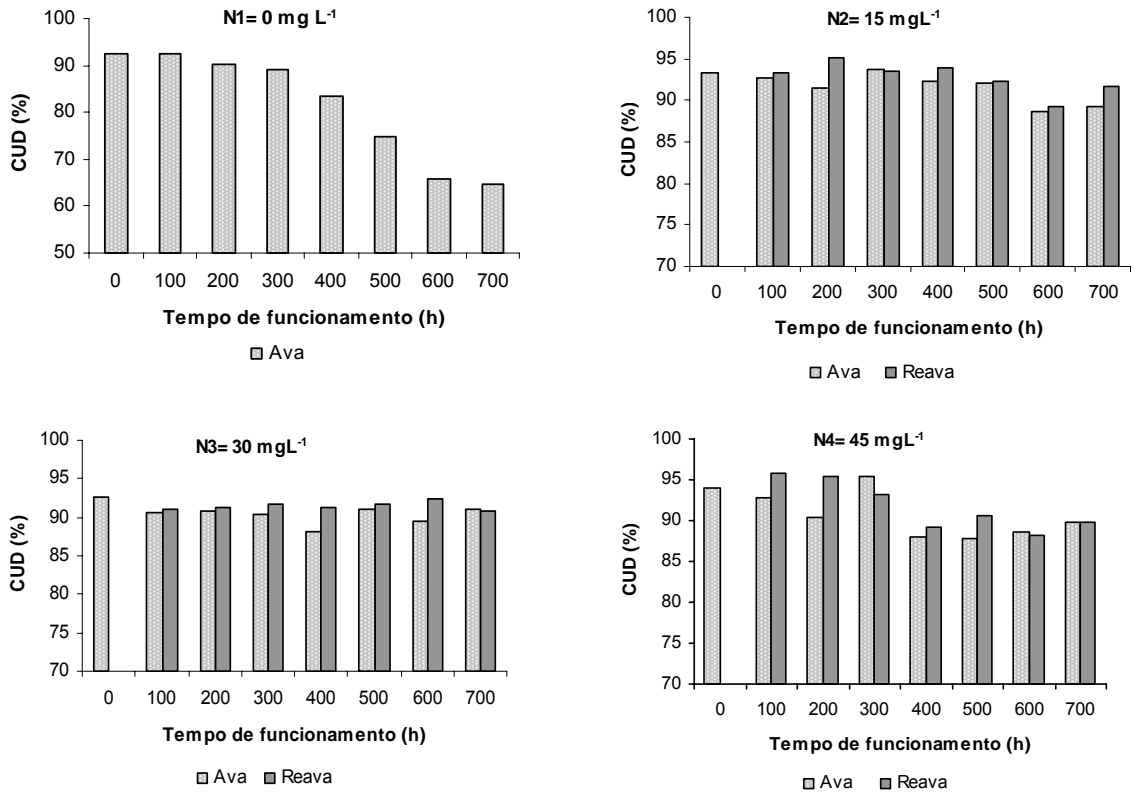


Figura 32 – Valores médios do CUD, antes (Ava) e após a cloração (Reava), nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M1.

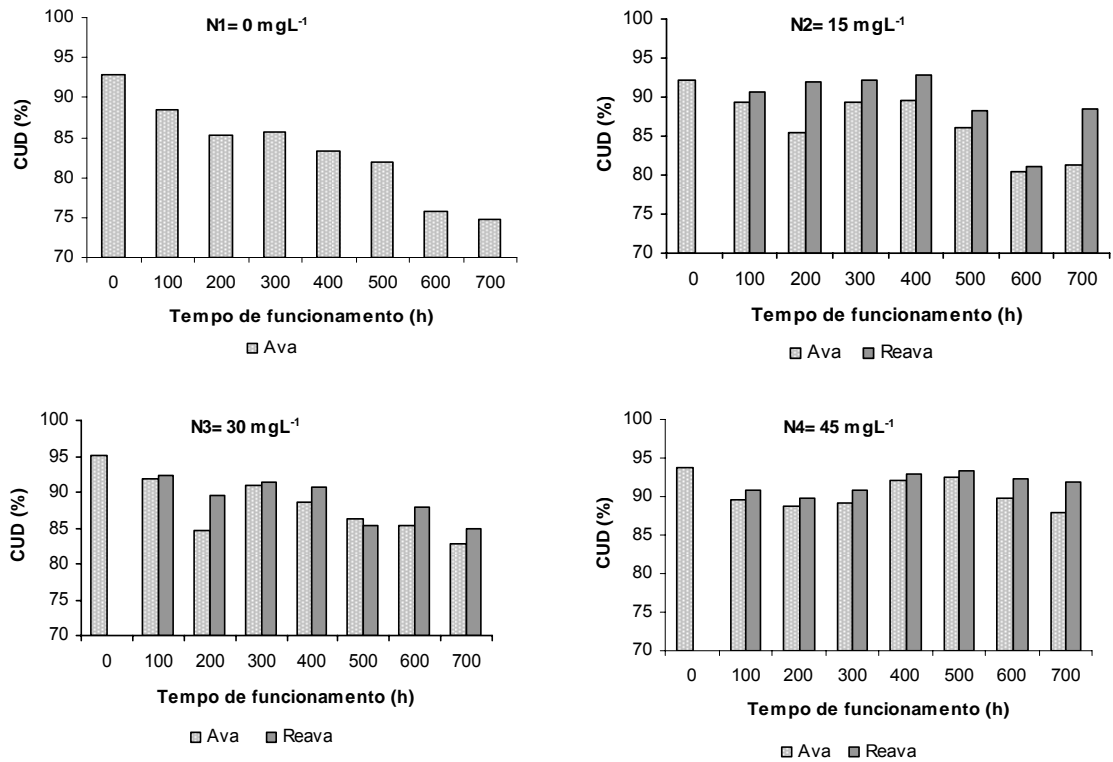


Figura 33 – Valores médios do CUD, antes (Ava) e após a cloração (Reava), nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M2.

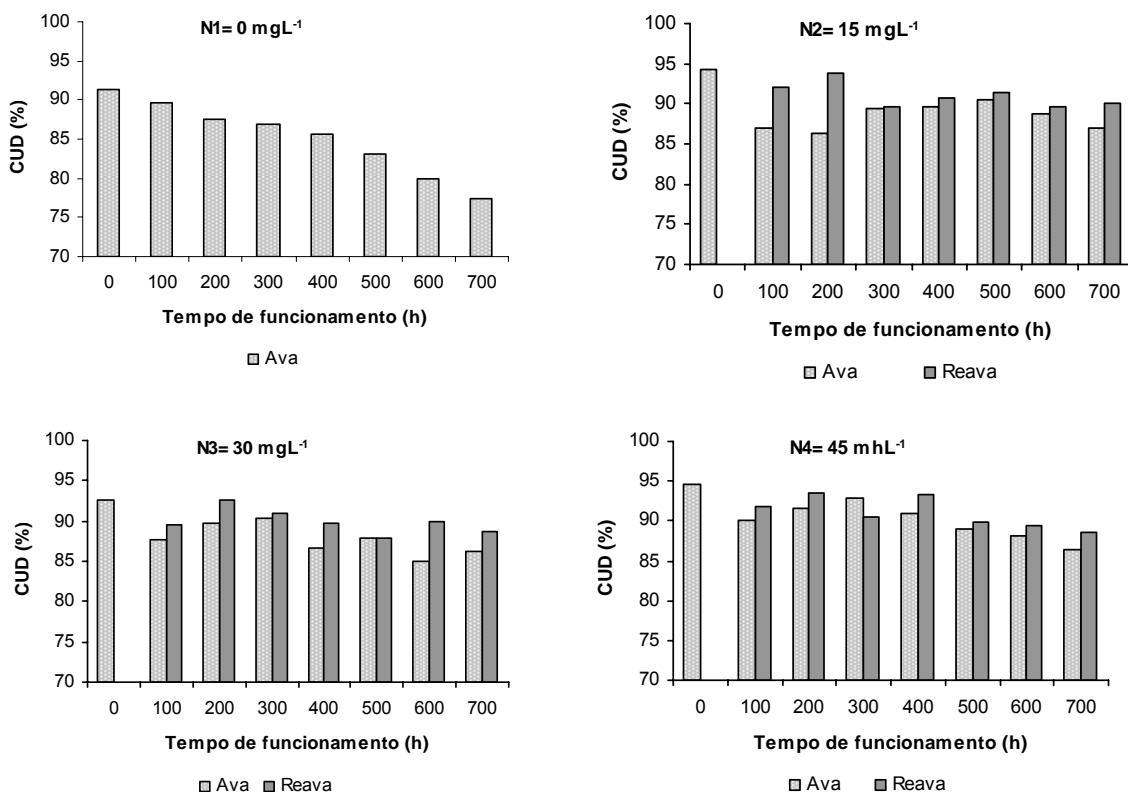


Figura 34 – Valores médios do CUD, antes (Ava) e após a cloração (Reava), nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M3.

De acordo com as Figuras 32, 33 e 34, o CUD apresentou comportamento semelhante nos modelos de gotejadores M1, M2 e M3, onde para o Nível N1, houve uma redução dos valores ao longo do tempo. Os resultados demonstraram que a cada 100 h de funcionamento, o CUD diminuía um pouco, mas, com a aplicação do produto, ocorria uma recuperação dos valores de uniformidade, pela ação do cloro sobre as colônias de ferrobactérias, promovendo assim, desobstrução dos gotejadores.

As Figuras 35, 36 e 37 apresentam os valores médios do CVq, antes e após a cloração, nos Níveis N1, N2 e N3, para os modelos M1, M2 e M3, respectivamente, considerando as reavaliações de uniformidade.

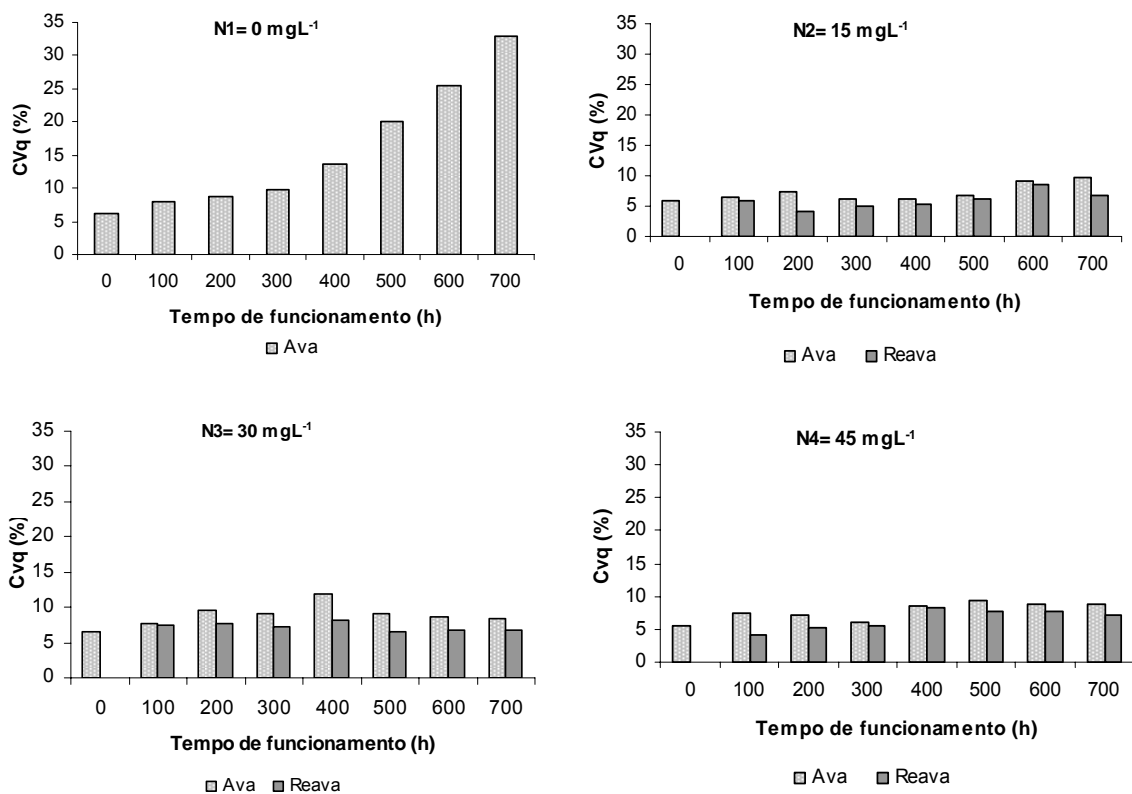


Figura 35 – Valores médios do CVq, antes (Ava) e após a cloração (Reava), nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M1.

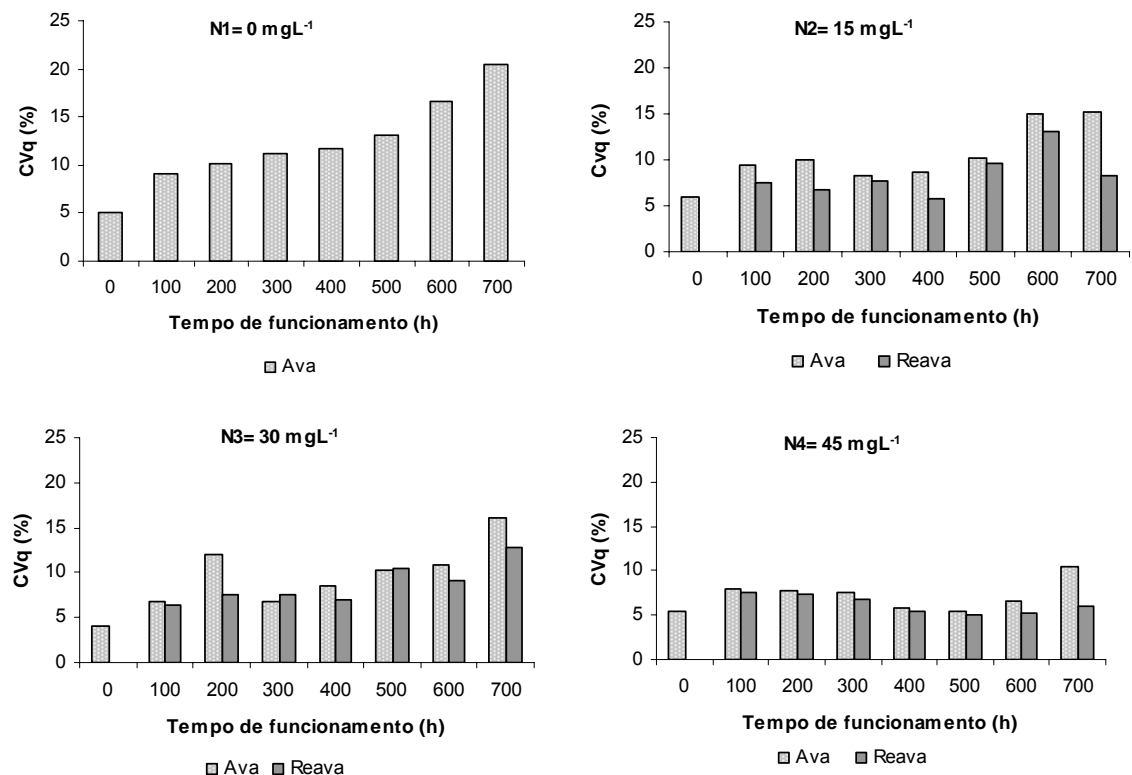


Figura 36 – Valores médios do CVq, antes (Ava) e após a cloração (Reava), nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M2.

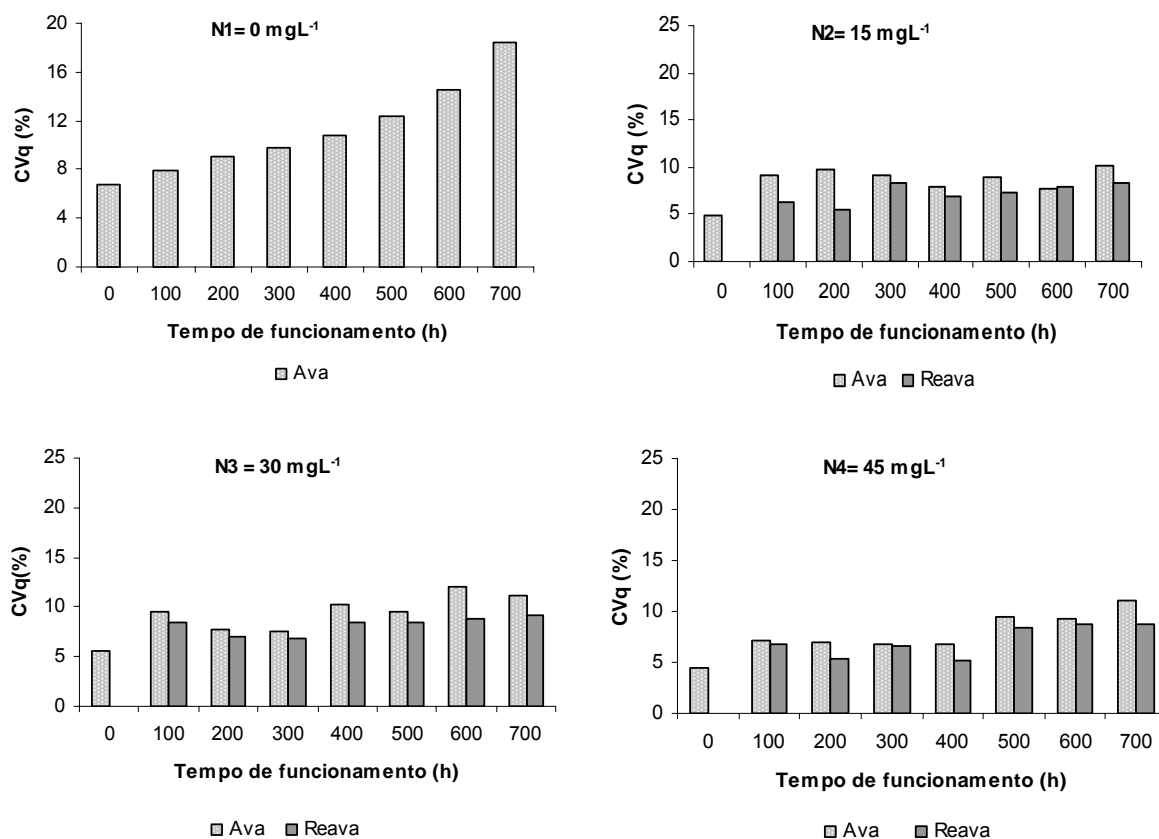


Figura 37 – Valores médios do CVq, antes (Ava) e após a cloração (Reava), nos Níveis N1, N2, N3 e N4, para o modelo M3.

Um Coeficiente de Variação da vazão (CVq) maior que 10%, já indica entupimento parcial dos gotejadores. Para os três modelos de gotejadores estudados, o CVq foi aumentando com o tempo no Nível N1. Como esta subunidade não recebeu aplicação de cloro, o processo de entupimento ocasionou variação na vazão dos gotejadores, o que reflete no CVq, como demonstrado na Figura 35, para o modelo M1, que apresentou o maior CVq no final do experimento. Verifica-se que após a aplicação do produto nos Níveis N2, N3 e N4, o CVq diminuiu, sendo que, em geral, o produto o manteve sempre menor que 10%. Na Figura 36, observa-se que para o modelo M2, as doses de 15 e 30 mg L⁻¹ apresentaram maiores variações no CVq que a dose de 45 mg L⁻¹. Para o modelo M3, constata-se na Figura 37 que após a aplicação do produto, as reavaliações indicam que ocorreram queda no Coeficiente de Variação.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os objetivos deste trabalho consistiram em avaliar o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento aplicando, em média, água com $3,57 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro total, avaliar a eficiência da cloração orgânica com dicloroisocianurato de sódio (65%) na prevenção de entupimento de tubogotejadores e identificar os gêneros de ferrobactérias que ocorrem na água causando tais obstruções. O experimento foi conduzido em uma área experimental na Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, Espírito Santo.

Montou-se um sistema de irrigação por gotejamento constituído de quatro subunidades de irrigação, que receberam o seguinte tratamento químico: nível N1 (sem aplicação de cloro), nível N2 (cloração com 15 mg L^{-1} de cloro livre), nível N3 (cloração com 30 mg L^{-1} de cloro livre) e nível N4 (cloração com 45 mg L^{-1} de cloro livre). Foram testados, em cada unidade, três modelos de tubogotejadores (M1, M2 e M3).

Realizaram-se oito avaliações da uniformidade de aplicação de água, através dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), de Distribuição (CUD) e Estatístico (Us), bem como o estudo da vazão e do Coeficiente de variação da vazão (CVq), a cada 100 h de funcionamento do sistema.

De acordo com os resultados apresentados, conclui-se que:

- O uso de água de irrigação com elevado teor de ferro total em sistema de irrigação por gotejamento, apresenta grande potencial para obstrução de gotejadores;
- O uso de água ferruginosa sem tratamento químico, reduz os valores de CUC, CUD, Us, e de vazão dos tubogotejadores M1, M2 e M3;
- Após 700 h de funcionamento, as reduções de CUC, CUD e Us dos tubogotejadores no Nível N1 são, respectivamente:

M1 = 23; 30,2 e 28,35%

M2 = 12,3; 19,5 e 16,25%

M3 = 8,2; 15,17 e 12,5%

- A vazão dos tubogotejadores M1 e M2, no Nível N1, reduzem em 26,13 e 27,4%, respectivamente, em quanto que o modelo M3, há um incremento de 1%.
- Os resultados comprovam que somente filtragem e abertura dos finais de linha não previnem a obstrução de gotejadores operando com água ferruginosa.
- O coeficiente de variação da vazão (CVq) diminui nos três modelos de gotejadores submetidos ao tratamento químico.
- A uniformidade de aplicação de água para os tubogotejadores M1, M2 e M3, submetidos à aplicação dos produtos químicos pelos Níveis N2, N3 e N4, para a prevenção do entupimento, classifica-se como excelente em quase todas as avaliações realizadas.
- As reavaliações de uniformidade comprovaram que após a aplicação do produto ocorre aumento dos valores de CUC, CUD e Us e diminuição do Cvq nas subunidades de irrigação. Verificou-se que estas concentrações de cloro foram eficazes no combate ao entupimento, sendo muito menores que as citadas na literatura.

- O tratamento químico com dicloroisocianurato de sódio (65%) minimiza a formação de mucilagem no interior das linhas laterais equipadas com tubogotejadores dos modelos M1, M2 e M3.
- As análises de laboratório identificaram os gêneros *Gallionella* e *Leptothrix* nos tubogotejadores, constatando-se a presença de 1 a 10 filamentos/células em todas as amostras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, N. J., MACÊDO, J. A. B. **Higienização na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1996. 182p.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: D.C. 2005.

AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, p.40-53, 1986.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**; tradução de H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros, F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO 29. 1985).

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**; tradução de H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros, F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).

BATISTA, R. O. **Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado sobre sistemas de irrigação por gotejamento**. Viçosa: UFV, 2004. 97p. Dissertação de Mestrado.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; EUCLIDES, R. M. A. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores mediante a aplicação de esgoto sanitário tratado. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14, n.2, 81-87, Abr./Jun, 2006.

BASTOS, R. K. X. Fertirrigação com água residuárias. In: FOLEGATT, M. V. (Coord) **Fertirrigação – citrus, flores, ortalijas**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 297-291.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005.

BENAMI, A.; OFEN, A. **Irrigation engineering**. Haifa: Irrigation Engineering Scientific Publications, 1984. 257p.

BLATCHLEY III, E. R., Disinfection and antimicrobial processes. **Water Environment Research**, v.66, n.4, p.361-368, 1994.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. (Ed.) **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p.216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9).

BRALTS, V. F.; KESNER, C. D. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transactions of the ASAE**, v.26, p.1369-1374, 1983.

BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. **Transactions of the ASAE**, v.24, p.1234-1240, 1981a.

BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Manufacturing variations and drip irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**, v.24, p.113-119, 1981b.

BRALTS, V. F.; EDWARD, D. M.; WU, I. P. Drip irrigation design and evaluation based on statistical uniformity concept. In: HILLEL, D. (Ed). **Advances in irrigation**. Orlando: Academic Press, v.4, p.67-117, 1987.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S., GILBERT, R. G.; **Trickle irrigation water quality and preventive maintenance**. Agricultural Water management. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. p 149-162. 1979.

CARARO, D. C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores**. Piracicaba, 2004. 130p. Tese (Doutorado) – ESALQ, USP.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. (California Agricultural Experimental Station. Bulletin, 670).

CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação no Mundo e no Brasil**. Brasília: ABIMAQ/CSEI. 2004. Disponível em <www.pivotvalley.com.br/valley/mestre/irrig_mundo_e_brasil.Pdf> Acesso em: 01 mar. 2006, 20:06:30

CLARK, G. A.; SMAJSTRLA, A. G. **Treating irrigation systems with chlorine**. Cooperative Extension Service. IFAS. University of Florida. 1999. 6p. Circular 1039.

CORDEIRO, E. A. **Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento**. Viçosa: UFV, 2002. 92p. Dissertação de Mestrado.

CORDOVILLE, C. Saneamento, Microorganismos e Exobiologia. In: VII Semana de Engenharia da UFF e IV Seminário Fluminense de Engenharia, 2005. Niterói. **Anais...**2005, p.?

CORREA, J. F. Evaluation of hydraulic characteristics of emitters. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE USE OF PLASTICS IN AGRICULTURE, 11., New Delhi, 1990. **Proceedings**. Rotterdam. 1990. p.137-143.

COSTA, C. C. **Estudo da susceptibilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de ferro**. Lavras, MG: UFLA, 2000. 85p. Dissertação de Mestrado em Agronomia.

CUNHA, F. F., MATOS, A. T.; BATISTA, R. O.; MONACO, P. A. L. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, Jan./March, 2006.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v.27, n.50, p.155-162, 1980.

DYCHDALA, G. R. - Chlorine and chlorine compounds. In: BLOCH, S. S. (Ed.) **Disinfection, sterilization and preservation**, 4.ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991. p. 131-151.

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

FAVETTA, G. M.; BOTREL, T. A. Uniformidade de Sistemas de Irrigação Localizada: Validação de Equações. **Scientific Agricultural**, vol.58, n.2, Piracicaba, Apr./June 2001.

FEIGIN, A.; RAVINA, I; SHALHEVET, J. Sources, treatment, processes and uses of sewage effluent. In: **Irrigation with treated sewage effluent**. (Eds.) Berlin: Springer-Verlag, 1991. cap. 2, p. 3-33.

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

GENCO, **Fichas de dados de segurança de materiais Hipoclorito de cálcio**. SÃO PAULO: Genco Química Industrial Ltda. 7p. Setembro/1998.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. OPERATIONAL PRINCIPLES/EMITTER CLOGGING. IN: NAKAYAMA, F.S. BUCKS, D.A.; **Trickle irrigation of crop production**. Elsevier Science Publishers B. V. 383P. 1986.

GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation: prevention of clogging. **Transactions of the ASAE**, v.22, p.514-519, 1979.

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

HERNANDEZ, F. B. T.; PETINARI, R. A. Qualidade da água para irrigação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Poços de Caldas, MG, 1998. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.2. p.58-60.

HIDROALL. **HCL90 E HCL56 Dicloroisocianurato de sódio**. VALINHOS: HidroAll Ltda. 19p., Dezembro/2000b.

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

KRUSE, E. G. Describing irrigation efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation Drainage Division**. ASCE, New York, 104(IR1): 35-41, 1978.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. J.; QUEROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. cap. 4, p. 113-136.

LEVER INDUSTRIAL. Sumaveg Hazard classification. London: Unilever U.K. Central Resources Limited. 4p. Abril/1995.

LUESCHOW, L. A.; K.M.MACKENTHUN. Detection and enumeration of iron bacteria in Municipal water supplies. *Journal of AWWA*. 54: 751. 1962.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J.M.H.; REGALADO, A.P.; HERNÁNDEZ, J.F.G. **Riego localizado**. Madrid, España: Mundi-Prensa, 1992. 405p.

MACEDO, L. H. H.; NOGUTI, M.; ABE, H.Y. Estudo dos trihalometanos. **Revista DAE**, n.134, p.42-47, 1983.

MACÊDO, J. A. B. **Determinação de Trihalometanos em Águas de Abastecimento Público e Indústria de Alimentos**. Viçosa, MG. 90p. Dissertação (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.

MACÊDO, J. A. B., **Águas & Águas**. Belo Horizonte: ORTFOFARMA, 505p. 2000.

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Manejo da irrigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária,

Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo. – Brasília: EMBRAPA-SSI, 1994. p. 129-158.

MARTINS, M. L. N. **Dinâmica do ferro e do manganês no hipolímnio do Reservatório Serra Azul em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária. Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R.; ALMEIDA NETO, J. A. Perda de carga nos filtros de areia e tela do sistema de irrigação por gotejamento. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 18, 1989, Recife. **Anais...** Recife: SBEA, 1989, p.584-607.

MEDINA SAN JUAN, J. A. **Riego por goteo teoria y práctica**. 4 ed. Espanha: Ediciones Mundi-Presa, 2000. 302p.

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

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

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

PEIXOTO, J. F. S.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Uniformidade de distribuição da fertirrigação no distrito de irrigação Platô de Neópolis. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 5, n. 2, 2005.

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

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

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

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

REIS, E. F.; POSSE, R. P.; BARROS, F. M.; LIMA, J. S. S.; PEZZOPANE, J. E. M. Uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação localizada no sul do Estado do Espírito Santo - ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA/SBEA,2002. (CD – ROM).

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

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M. S. Eficiência da cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 382-389, 2000.

RIBEIRO, L. F., FASANARO, R., LAPOLLI, F. R. **Dióxido de cloro: suas características e aplicação na desinfecção de águas residuárias.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABEAS, 2000. (CD-ROM).

RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R. P.; PATERNIANI, J. E. S. ; SILVA, M. J. M. Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.295-301, 2005.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água.** São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 332 p.

SAMPAIO PEREIRA, A. M. **Deteção espectrofotométrica de trihalometanos em águas de abastecimento público.** Porto Alegre: UFRGS, 1989. 141p. (Tese-Mestrado em Engenharia Civil)

SCALOPPI, E. D. Características dos principais sistemas de irrigação. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, n.25, p.22-27, 1986.

SILVA, M. O.; C. ALMEIDA. **Incrustações ferruginosas em captações. Um caso de recuperação espectacular.** Bol. do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências de Lisboa, vol. 16(1), p.219-227, 1979.

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

SOARES, A. A., RAMOS, M. M., LUCATO JÚNIOR, J. Uso racional de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô-central no estado de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de engenharia agrícola, 22, 1993. Ilhéus. **Anais...**, Ilhéus: SBEA, 1993. p.2688-2702.

SOARES, J. B.; MAIA, A.C.F. **Água: microbiologia e tratamento.** Fortaleza:UFC, 1999. 206p.

SOCCOL, O. J. **Construção e avaliação de hidrociclone para pré-filtragem da água de irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 109p. (Tese - Doutorado em Agronomia)

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

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

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

THOMPSON, G. T.; KRIDER, J. N. Farm resources and system selection. In: JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. cap.3. p. 45-73.

VIEIRA, G. H. S. **Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas**. Viçosa: UFV, 2002. 92p. Dissertação de Mestrado.

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

XU, G.; MAGEN, H.; TARCHITZKY, J.; KAFKAFI, U. Advances in chloride nutrition of plants. **Advances in Agronomy**, v. 68, p. 97-150, 2000.

ZAZUETA, F.S.; **Micro irrigation**. ICFA, International, Inc. México, 1992.

WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. **Scientific Agricultural**, v.27, p.565-583, 1947.

APÊNCIDE

Quadro 1A - Análise de variância dos valores do CUC

Fontes de variação	G.L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Modelo	2	56,93847	28,46924	9,53*
Dose	3	1539,706	513,2352	171,83*
Modelo x dose	6	283,6706	47,27844	15,83*
Resíduo (a)	24	144,4713	6,019636	
Tempo	7	766,7009	109,5287	36,67*
Tempo x modelo	14	120,1343	8,581021	2,87*
Tempo x dose	21	836,7681	39,84610	13,34*
Tempo x modelo x dose	42	415,8814	9,901938	3,32*
Resíduo (b)	168	501,7904	2,986848	
Total	287			

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste "F".

Coefficiente de variação da subparcela e da parcela igual a 1,85 e 0,25%, respectivamente.

Quadro 2A - Análise de variância dos valores do CUD

Fontes de variação	G.L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Modelo	2	29,36353	14,68176	1,19 ^{ns}
Dose	3	4466,126	1488,709	120,51*
Modelo x dose	6	460,5218	76,75362	6,21*
Resíduo (a)	24	624,5824	26,02427	
Tempo	7	2418,694	345,5277	27,97*
Tempo x modelo	14	285,3873	20,38481	1,65 ^{ns}
Tempo x dose	21	2019,176	96,15125	7,78*
Tempo x modelo x dose	42	918,1218	21,86004	1,77*
Resíduo (b)	168	2075,450	12,35387	
Total	287			

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste "F". ^{ns} Não significativo

Coefficiente de variação da subparcela e da parcela igual a 3,95 e 0,54% respectivamente.

Quadro 3A - Análise de variância dos valores de Us

Fontes de variação	G.L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Modelo	2	32,91031	16,45515	2,75 ^{ns}
Dose	3	2570,921	856,9738	143,11*
Modelo x dose	6	436,3156	72,71927	12,14*
Resíduo (a)	24	301,5922	12,56634	
Tempo	7	1325,761	189,3944	31,63*
Tempo x modelo	14	147,7962	10,5568	1,76*
Tempo x dose	21	1375,922	65,5201	10,94*
Tempo x modelo x dose	42	659,4474	15,7011	2,62*
Resíduo (b)	168	1006,035	5,9883	
Total	287			

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste "F". ^{ns} Não significativo
 Coeficiente de variação da subparcela e da parcela igual a 2,68 e 0,54% respectivamente.

Quadro 4A - Análise de variância dos valores de Vazão

Fontes de variação	G.L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Modelo	2	19,31477	9,657387	3574,93**
Dose	3	1,04348	0,347829	128,76**
Modelo x dose	6	0,782530	0,130421	48,28**
Resíduo (a)	24	0,178289	0,007428	
Tempo	7	0,473571	0,067653	25,04**
Tempo x modelo	14	1,151679	0,082262	30,45**
Tempo x dose	21	0,850272	0,0404891	14,99**
Tempo x modelo x dose	42	0,946050	0,0225250	8,34**
Resíduo (b)	168	0,453838	0,0027014	
Total	287			

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste "F".
 Coeficiente de variação da subparcela e da parcela igual a 2,23 e 0,056%, respectivamente.

Quadro 5A - Análise de variância dos valores do CVq

Fontes de variação	G.L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Modelo	2	0,003291	0,001645	2,75 ^{ns}
Dose	3	0,257091	0,085697	143,11*
Modelo x dose	6	0,043631	0,0072719	12,14*
Resíduo (a)	24	0,0301592	0,0012566	
Tempo	7	0,132576	0,018939	31,63*
Tempo x modelo	14	0,0147796	0,0010556	1,76*
Tempo x dose	21	0,137592	0,006552	10,94*
Tempo x modelo x dose	42	0,0659447	0,0015701	2,62*
Resíduo (b)	168	0,1006034	0,0005988	
Total	287			

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste "F". ^{ns} Não significativo
Coeficiente de variação da subparcela e da parcela igual a 27,95 e 0,12%, respectivamente.