

SONIVAGNO DE SOUSA SILVA

**DESEMPENHO HIDRÁULICO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
COM MICROTUBOS GOTEJADORES SOB FERTIRRIGAÇÃO**

Recife

Julho - 2011

SONIVAGNO DE SOUSA SILVA
ENGENHEIRO AGRÔNOMO

**DESEMPENHO HIDRÁULICO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
COM MICROTUBOS GOTEJADORES SOB FERTIRRIGAÇÃO**

Orientadora

Prof.^ª. Dr.^ª. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

Co-Orientador

Prof. Ph.D. Enio Farias de França e Silva

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Água e Solo.

Recife

Julho - 2011

Ficha catalográfica

S586d Silva, Sonivagno de Sousa
Desempenho hidráulico de sistema de irrigação com
microtubos gotejadores sob fertirrigação / Sonivagno de
Sousa Silva. – Recife, 2011.
75 f.: il.

Orientadora: Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Tecnologia Rural, Recife, 2011.

Referências.

1. Uniformidade de distribuição 2. Grau de entupimento
3. Variação da vazão 4. Melão I. Almeida, Ceres Duarte
Guedes Cabral de, orientadora II. Título

CDD 631.7

DESEMPENHO HIDRÁULICO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM MICROTUBOS GOTEJADORES SOB FERTIRRIGAÇÃO

SONIVAGNO DE SOUSA SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 30 de julho de 2011 pela banca examinadora:

Orientadora:

Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida, Prof^a. Dr^a.
CODAI/UFRPE

Examinadores:

João Audifax Cezar de Albuquerque Filho, Prof. Dr.
DTR/UFRPE

Abelardo Antônio Assunção Montenegro, Prof. PhD.
DTR/UFRPE

Ralini Ferreira de Mélo, Prof^a. Dr^a.
UAG/UFRPE

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Valdeci Pedro e Creuza de Souza, que depositaram total apoio e confiança.

Aos meus irmãos.

A meus sobrinhos.

“Cada dia a natureza produz o suficiente para nossa carência. Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário, não haveria pobreza no mundo e ninguém morreria de fome”

Mahatma Gandhi

“Nunca o homem inventará nada mais simples nem mais belo do que uma manifestação da natureza. Dada a causa, a natureza produz o efeito no modo mais breve em que pode ser produzido”.

Leonardo da Vinci

AGRADECIMENTOS

Externo meus sinceros e profundos agradecimentos a todos que estiveram comigo nesta jornada, onde sem vocês não seria possível a concretização deste trabalho.

- A DEUS, pela permissão da execução deste trabalho e sem sua presença nada seria possível;
- A Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo;
- A meus pais, Valdeci Pedro da Silva e Creuza de Souza Silva;
- A meus irmãos, Someria, Soniclécia e Sófonis;
- Às meus sobrinhos(as), Sonieria, Soynaria, Sonielma, Arthur Bruno, Alex Pedro e Clarinha;
- À minha orientadora, Professora Dr^a. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida, pela orientação a mim concebida, ensinamentos e prontidão em minhas aflições, resolvendo minhas inumeráveis dúvidas ao longo do trabalho;
- Ao Professor Ênio Faria de França e Silva, pelo companheirismo e atenção;
- Ao Professor João Audifax Cezar de Albuquerque Filho, pelo companheirismo conversas relacionadas ao estudo e entusiasmo no desenvolvimento do trabalho proposto;

- À banca examinadora composta por: Prof. João Audifax Cezar de Albuquerque Filho, Prof. Abelardo A. A. Montenegro e a Prof^a. Ralini Ferreira de Mélo, pelas valiosas observações e contribuições dadas para a melhoria do trabalho;
- Aos meus amigos, Alexandre Nascimento, Adriana Guedes, Carlos Augusto, Celestino Jolamo, Cristiane, Constantino Paulo, Francimar Albuquerque, Gledson Luiz, Irenilson Machado, Junior, Jéssica Albertina, José Francisco (Zezito), José Freires, Manassés Mesquita, Max Henrique, Marcelo Possas, Marcela Luna, Mara, Márcio, Manuela, Eduarda, Nadielan, Robertson, Samuel Marcus, Taciana Oliveira, Thais Fernanda e Uilka Elisa;
- Aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, onde o tempo proporcionou laços e vínculos de amizade;
- Aos funcionários do Departamento de Tecnologia Rural da UFRPE, que no nome de Junior Granja e Lulinha agradeço a todos (as);
- E a todos que por descuido não mencionei, mas que de alguma forma deram contribuições proveitosas para a realização dessa dissertação e que, portanto, fazem parte dessa conquista, expresso meus sinceros e profundos agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Irrigação no Brasil	16
2.2 Irrigação Localizada	17
2.3 Hidráulica de microtubos	19
2.4 Perda de energia no microtubo	20
2.5 Entupimento de emissores	21
2.6 Avaliação de sistema de irrigação localizada.....	22
2.7 Cultura do Melão	24
2.8 Fertirrigação.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Determinação do diâmetro interno efetivo do microtubo.....	28
3.2 Bancada de Ensaio	30
3.3 Dimensionamento do sistema de irrigação	32
3.4 Funcionamento do sistema de irrigação e condução do experimento	34
3.5 Nutrientes e solução nutritiva	35
3.6 Avaliação do sistema de irrigação	39
3.7 Caracterização físico-química da água de irrigação	42
3.8 Análise Estatística	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5. CONCLUSÕES.....	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

RESUMO

DESEMPENHO HIDRÁULICO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM MICROTUBOS GOTEJADORES SOB FERTIRRIGAÇÃO

Autor: Sonivagno de Sousa Silva

Orientadora: Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

A irrigação localizada é a técnica que mais apresenta tendências de crescimento mundial. O uso de microtubos como emissores na irrigação localizada tem sido utilizado em pequenas unidades de produção agrícola devido a seu baixo custo de aquisição e instalação. Como forma de verificar a viabilidade técnica da utilização de microtubos o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho hidráulico de quatro microtubos gotejadores de diferentes diâmetros sob fertirrigação, simulando o cultivo do meloeiro com diferentes recomendações de adubação. Para tal, foi determinado o coeficiente de variação de fabricação (CVf), o coeficiente de variação de vazão (CVq), a uniformidade de distribuição (UD) e o grau de entupimento (GE). O experimento foi conduzido com três tipos de água, sendo o primeiro proveniente de um poço no Departamento de Tecnologia Rural da UFRPE (denominado como controle), a segunda sob fertirrigação conforme recomendação da EMBRAPA (2003), e a terceira também sob fertirrigação, sendo que de acordo com DANTAS (2010). Quatro linhas laterais de mesmo diâmetro foram instaladas em uma bancada de ensaio, sendo cada linha composta por 25 emissores iguais. Foi aplicada a estatística descritiva para a obtenção das médias, desvio padrão e coeficientes de variação. Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que os microtubos analisados apresentaram CVf excelente e a uniformidade de distribuição variou de ruim a bom, dependendo dos fertilizantes e concentrações utilizadas. Em geral, os microtubos de maior diâmetro apresentaram melhor desempenho que os demais. O uso de fertilizantes comprometeu o desempenho hidráulico do sistema de irrigação.

Palavras-chave: Uniformidade de distribuição; grau de entupimento; variação de vazão; melão

ABSTRACT

HYDRAULIC PERFORMANCE OF IRRIGATION SYSTEM UNDER FERTIRRIGATION WITH MICROTUBES DRIPPERS

Author: Sonivagno de Sousa Silva

Advisor: Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

Trickle irrigation is an irrigation technique which expands for the entire world. Use of microtubules as emitters in trickle irrigation has been used in small units of agricultural production due to its low cost and installation. This study evaluated hydraulic performance of four different microtubes (diameter of 0.6; 0.7; 0.8 and 1.0mm) under fertigation, simulating the growth of melon. Coefficient of manufacturing variation, coefficient of variation of discharge, coefficient distribution uniformity and clogging degree were used to determinate susceptibility to clogging. The experiment was conducted with three types of water, the first from a well in the Department of Rural Technology UFRPE, the second with fertilizers as recommended by EMBRAPA (2003), and the third also with fertigation, but according DANTAS (2010). Four lateral lines of the same diameter were installed in a bench trial, each line with 25 equal microtubes. Descriptive statistics was applied to obtain the mean, standard deviation and coefficient of variation. In conclusion, microtubules showed excellent coefficient of manufacturing variation. Distribution uniformity ranged from bad to good depending on the fertilizer and concentrations used. In general, larger diameter microtubes performed better than others. The use of fertilizers has influenced the hydraulic performance of irrigation system.

Keywords: distribution uniformity, clogging degree, flow variation, melon

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Microtubos utilizados nos ensaios	27
Figura 2. Esquema de coleta de vazão para determinação do diâmetro interno efetivo do microtubo (ALMEIDA & BOTREL, 2010)	29
Figura 3. Vista superior da bancada de ensaios	30
Figura 4. Visualização da bancada de ensaios em funcionamento	31
Figura 5. Valores da temperatura da água monitorada ao longo do experimento	48
Figura 6. Indícios visuais da precipitação do ferro na água de irrigação	49
Figura 7. Distribuição da vazão média dos emissores novos	56
Figura 8. Distribuição da vazão média dos emissores ao final do tratamento controle .	57
Figura 9. Vazão dos emissores ao final da fase 1 do segundo tratamento	58
Figura 10. Vazão dos emissores ao final da fase 2 do segundo tratamento	59
Figura 11. Vazão dos emissores ao final da fase 3 do segundo tratamento	60
Figura 12. Vazão dos emissores ao final da fase 4 do segundo tratamento	61
Figura 13. Vazão dos emissores ao final da fase 1 do terceiro tratamento.....	62
Figura 14. Vazão dos emissores ao final da fase 2 do terceiro tratamento.....	63
Figura 15. Vazão dos emissores ao final da fase 3 do terceiro tratamento.....	64
Figura 16. Vazão dos emissores ao final da fase 4 do terceiro tratamento.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critérios de classificação da uniformidade de distribuição (UD).....	23
Tabela 2. Valores do coeficiente de perda de carga localizada (K) ocorrida na entrada do microtubo.....	34
Tabela 3. Composição química nutricional para cada fase do segundo tratamento	37
Tabela 4. Composição química nutricional para cada fase do terceiro tratamento	38
Tabela 5. Fator de diluição recomendado por Dantas (2010).....	39
Tabela 6. Volume de água após os cálculos com a utilização de fatores de diluição de fertilizantes	39
Tabela 7. Critérios de classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf)	41
Tabela 8. Parâmetros físico-químicos da água utilizada nesta pesquisa	42
Tabela 9. Valores médios do diâmetro efetivo de cada microtubo utilizado e seus comprimentos	44
Tabela 10. Desempenho do sistema de irrigação durante o tratamento controle	45
Tabela 11. Desempenho dos emissores durante o segundo tratamento.....	46
Tabela 12. Desempenho dos emissores durante o terceiro tratamento.....	47
Tabela 13. Critérios de classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento	54

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é considerada a alavanca inicial para o desenvolvimento econômico de uma região. Quanto mais tecnificada for a agricultura, maior será o consumo de insumos e a produção, gerando mais renda e distribuindo melhor os recursos na cadeia produtiva. Nesse sentido a irrigação é muito importante, pois aumenta a produtividade, reduz a sazonalidade da oferta de alimentos no decorrer do ano e permite a produção de alimentos onde a falta de chuvas é um fator limitante. Além disso, esta tecnologia viabiliza mais ofertas de serviços do que a agricultura de sequeiro (VANZELA & ANDRADE, 2002).

No passado a água e a terra agricultável eram consideradas mundialmente como recursos abundantes e renováveis, porém no início do século XXI são reconhecidos como recursos naturais valiosos e escassos. Por esse motivo a comunidade científica mundial está ciente da necessidade de se adotar práticas agrícolas sustentáveis para conservar a água e evitar danos às terras cultiváveis (LONG, 2001).

Grande quantidade de água é requerida para a prática da irrigação, o decréscimo de sua disponibilidade e o alto custo da energia necessária à sua aplicação tem aumentado o interesse pela racionalização do uso da água, de forma a minimizar as suas perdas (AZEVEDO et al., 1999). Portanto, é necessário minimizar a quantidade de água aplicada via irrigação sem, contudo, comprometer a produção final. Nos dias atuais, o emprego da irrigação localizada vem sendo muito aplicado com esse objetivo.

O gotejamento foi inicialmente desenvolvido em Israel, com alguns trabalhos de pesquisa realizados na década de 30. Canalizações de aço perfuradas foram utilizadas para disponibilizar somente a quantidade de água necessária para o desenvolvimento das plantas, porém, era inviável principalmente para pequenas unidades de produção agrícola, devido às tubulações conferirem elevados custos. Com o advento das tubulações de polietileno, a irrigação localizada tomou características favoráveis ao seu desenvolvimento, para sua expansão e utilização (SALOMÃO, 2009).

Outras vantagens podem ser elencadas a cerca deste método, tais como a distribuição da água é numa região específica, diretamente no sistema radicular da planta e em quantidades precisas, sendo assim, a absorção da água pelo sistema radicular é extremamente eficiente, promovendo economia e uso racional da água.

Um problema frequente na irrigação localizada é o entupimento dos gotejadores, que está diretamente relacionado à qualidade da água e à deficiência de filtração do sistema (RIBEIRO et al. 2008).

A qualidade da água é um dos fatores limitantes a este método, sendo necessária atenção especial, devido apresentar grande susceptibilidade ao entupimento, seja por componentes físicos, químicos e/ou biológicos da água. Considerando que, os gotejadores uma vez entupidos dificilmente serão desentupidos, essa é uma limitação de uso por parte dos irrigantes. A filtragem e/ou uso de substâncias químicas na água podem compensar este entrave, no entanto, irá depender do nível tecnológico do agricultor e sua disponibilidade financeira para investimento (MÉLO, 2007).

Dentre os tipos de gotejadores há o microtubo espaguete que consiste de um segmento de tubo de pequenos diâmetros interno, o qual é inserido diretamente na linha lateral. É um tipo clássico de escoamento em longo percurso onde a perda de carga ao longo do microtubo é função direta de seu comprimento, do qual dissipa energia, liberando pequenas quantidades de água para a zona radicular da planta. A vazão é função da pressão disponível na linha lateral, do diâmetro e do comprimento do microtubo. Normalmente os diâmetros internos do microtubos variam entre 0,5 a 1,5 mm. Estes gotejadores caracterizam-se pela fácil instalação e baixo custo, quando comparados aos outros tipos de emissores (SOUZA, 2005).

A determinação do diâmetro interno do microtubo deve ser definida com precisão, pois qualquer variação no diâmetro afetará a vazão e conseqüentemente, no dimensionamento, influirá também na determinação do comprimento do microtubo, para uma determinada pressão de entrada do gotejador (ALMEIDA, 2008).

A utilização de microtubos vem crescendo especialmente em países pobres da Ásia e África, onde organizações internacionais lutam pelo desenvolvimento dos pequenos agricultores através da implantação de tecnologias de baixo custo. Instituições como Internacional Development Enterprises (IDE) e Intermediate Technology Consultants (ITC) promovem na Índia e Zimbábue a utilização da irrigação com microtubos alimentado por gravidade. Microtubos e linhas laterais são utilizadas como ferramentas que proporcionam o desenvolvimento da população pobre no meio rural (MACKAY, 2003). No Brasil pesquisas vêm sendo realizadas para identificação das condições que essa tecnologia pode ser adotada, quais as limitações técnicas, operacionais e econômicas decorrentes de sua utilização especialmente no tocante a regiões onde a escassez de água é evidente.

Esses emissores tipo microtubos apresentam, quando trabalham em regime laminar os inconvenientes da sensibilidade a variações de temperatura, além dos riscos de entupimentos. Outro desafio para o desenvolvimento dessa tecnologia é a exigência de se elaborar um projeto criterioso e detalhado, de forma que a vazão do microtubo seja estimada com bastante precisão (SOARES, 1981).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho hidráulico, com foco na sensibilidade ao entupimento, de um sistema de gotejamento tipo microtubo, com diferentes diâmetros internos, sob fertirrigação visando simular as necessidades hídricas e nutricionais da cultura do meloeiro em diferentes estádios de desenvolvimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Irrigação no Brasil

No Brasil estima-se que o potencial para o desenvolvimento sustentável, da irrigação é de 14,6 milhões de hectares em “terras altas” e de 14,9 milhões de hectares em várzeas totalizando 29,5 milhões de hectares. Dessas, encontra-se sob irrigação 3,149 milhões de hectares, o que representa 10,7% do potencial de solos aptos para a agricultura irrigada sustentável. A definição do potencial de área irrigada no Brasil envolve aspectos fundamentais, como disponibilidade de água, a viabilidade da sua utilização e preservação do ecossistema (CHRISTOFIDIS, 2002).

A irrigação na agricultura deve ser entendida não somente como um seguro contra secas ou veranicos, nem tão pouco apenas como um procedimento artificial para atender às condições de umidade de solo visando à melhoria da produção agrícola, tanto em quantidade como em qualidade ou oportunidade. Na realidade, é uma técnica constituída por um conjunto de operações necessárias ao atendimento das necessidades de água para as plantas, evitando os excessos, que transcendem à relação solo-água-planta, pura e simplesmente. Além disso, permite que o material genético de uma planta expresse em campo todo o seu potencial produtivo e, quando bem dimensionada e manejada, a irrigação é uma ferramenta fundamental e eficaz no aumento da rentabilidade do produtor, como também permite a racionalização de insumos (HERNANDEZ, 2004).

A agricultura brasileira tem, no passado, no presente e terá certamente no futuro, relevantes contribuições ao desenvolvimento econômico e social do Brasil. Especialmente no tocante à melhoria da qualidade de vida do produtor rural uma vez que a irrigação é responsável pela geração de emprego e renda, melhorando assim a qualidade de vida dos habitantes do meio rural (HEINZE, 2002). Nesse sentido, a agricultura irrigada no Brasil assume uma função diferenciada quanto ao desenvolvimento e modernização do campo, pois com o uso de um sistema de irrigação é possível garantir a produção de mais de uma safra anual e obter o melhor aproveitamento dos solos (CHRISTOFIDIS, 2002).

2.2 Irrigação Localizada

O sistema de irrigação mais utilizado no Brasil tem sido a irrigação por superfície (50%), seguida da aspersão (38%). Entretanto, com a necessidade de melhor utilização do fator água e, conseqüentemente, de maior eficiência operacional dos sistemas, tem se verificado a expansão de métodos de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão), os quais representam 10% do total de 3.440.470 ha irrigados no Brasil (HEINZE, 2002; CHRISTOFIDIS, 2006).

A irrigação localizada desenvolveu-se nas décadas de 60 e 70, embora alguns sistemas de irrigação que operavam seguindo este conceito, ou seja, de aplicar pequenas vazões de água localizadamente diretamente sobre o sistema radicular das plantas, vinham sendo desenvolvidos desde o início do século XX. A partir da década de 60, houve grande impulso no desenvolvimento da irrigação por gotejamento. Desde então, rapidamente, o gotejamento espalhou-se por diversos países (NAKAYAMA & BUCKS, 1986).

De acordo com Howell (2000) a irrigação por gotejamento foi inicialmente explorada em plantações de abacate no Sul da Califórnia nos EUA, no início da década de 60. As primeiras pesquisas científicas envolvendo a irrigação por gotejamento foram iniciadas em 1963. E em 1971, em Tel Aviv, Israel, ocorreu o primeiro encontro mundial sobre irrigação por gotejamento (NAKAYAMA & BUCKS, 1986).

A irrigação localizada constitui o método de irrigação em que a água é aplicada no solo, diretamente sobre a região radicular, em pequenas intensidades e alta frequência. Gotejamento e a microaspersão são os sistemas de irrigação localizada que mais se destacam. O objetivo central é manter a umidade do solo na zona radicular próximo à capacidade de campo (SILVA et al., 2003). A aplicação da água é feita através de tubos perfurados com orifícios de diâmetros reduzidos ou por meio de gotejadores e microaspersores denominadas emissores, conectadas em tubulações flexíveis de polietileno, trabalhando com pressões entre 0,5 a 2,5 atmosferas (BERNARDO et al., 2005).

Dentre todos os métodos de irrigação existentes no mercado, a irrigação localizada foi o que mais apresentou tendências de crescimento nos últimos anos. Isso pode ser justificado pela maneira racional de utilização da água. De acordo com Cabello (1996), estudos divulgados pela International Commission of Irrigation and Drainage-ICID em 1991 apontou um crescimento da área irrigada com a utilização dos métodos

de irrigação localizada de 63% em relação aos cinco anos anteriores e de 329% em relação aos 10 anos que o precederam. Além disso, a tendência de crescimento eleva a importância no cenário agrícola brasileiro, devido as aplicações voltadas principalmente para a fruticultura, horticultura e fertirrigação (MATOS et al., 1999). Keller & Karmeli (1974) citam a possibilidade de fertilizar a água e aplicar apenas em um volume de solo ocupado pelo sistema radicular das plantas como meio de atender as necessidades hídricas e nutricionais do vegetal.

O desenvolvimento do setor de irrigação localizada e a maior competitividade do agronegócio brasileiro tornaram esse tipo de irrigação viável em diversas culturas e sistemas de cultivo. Destaca-se que os maiores fabricantes mundiais vêm dedicando atenção especial ao mercado brasileiro com políticas de implantação de fábricas no Brasil, o que permite disponibilizar o acesso a equipamentos com custos mais competitivos (BERNARDO et al., 2005).

O uso de microtubos como emissores na irrigação localizada oferece uma significativa economia de água, desde que o sistema seja corretamente dimensionado, instalado e com adequada manutenção. Especialmente, para pequenas unidades de produção agrícola, as quais apresentam características técnicas, econômicas, ambientais e sociais, viabilizando seu desenvolvimento e expansão (ISHAQ & IBRAHIM, 1995).

O sistema de irrigação localizada com microtubos normalmente é composto por linhas de polietileno e emissores do tipo microtubo. Esse emissor é um pequeno tubo de plástico com diâmetro interno variando entre 0,5 a 1,5 mm, caracterizado pela fácil instalação e baixo custo, quando comparado com outros tipos de emissores (SOUZA, 2005). Hidraulicamente este emissor funciona dissipando energia ao longo de seu comprimento, ou seja, liberando pequenas quantidades de água diretamente no sistema radicular da planta. O seu comprimento e diâmetro podem ser selecionados para diferentes vazões (SOARES, 1981).

De acordo com Silva et al. (1988) considerando o processo artesanal e o baixo custo de confecção/instalação, quando bem dimensionados, os microtubos podem ser utilizados obtendo-se razoáveis níveis de uniformidade de distribuição de água. Cabello (1996) comenta que na Espanha o sistema de irrigação por gotejamento com a utilização de microtubos se tornou popular pelo baixo custo e por uma peculiaridade interessante, o próprio agricultor pode uniformizar as vazões, mesmo o sistema estando instalado, cortando os emissores no comprimento que se mostrem adequados. Vale destacar que essa tecnologia vem crescendo especialmente em países pobres da Ásia e África, onde

organizações internacionais lutam pelo desenvolvimento dos pequenos agricultores por meio de implantação de tecnologias de baixo custo. Instituições como International Development Enterprises (IDE) e Intermediate Technology Consultants (ITC) instalaram na Índia e no Zimbábue sistemas de irrigação por microtubos com alimentação por gravidade. Pequenos “Kits” com linhas laterais e microtubos são utilizados como ferramentas que proporcionam o desenvolvimento da população pobre do meio rural (MACKAY, 2003).

Um dos maiores inconvenientes da utilização desta tecnologia é a exigência de água de boa qualidade. A fim de minimizar a ocorrência de entupimento, a filtragem da água faz parte do próprio sistema, para evitar a obstrução dos gotejadores com partículas minerais ou orgânicas. Porém, continua o problema de entupimento devido à precipitação de sais e/ou sedimentação, dentro dos gotejadores, de partículas de argila e silte em suspensão na água de irrigação, e que não são retiradas nos filtros comuns. Como os emissores são de longo percurso, os microtubos são mais suscetíveis ao entupimento. Uma vez entupido um gotejador do tipo microtubo, dificilmente ele será recuperado (MÉLO, 2007).

2.3 Hidráulica de microtubos

As características hidráulicas de emissores do tipo microtubo na irrigação localizada constituem-se em definir: a relação entre vazão e pressão na entrada do emissor; a perda de carga localizada com a sua inserção no tubo; o regime de escoamento nele existente; a uniformidade de fabricação; a grandeza do raio efetivo e a uniformidade de distribuição espacial da água. Para que esse tipo de sistema de irrigação seja corretamente dimensionado, faz-se necessário o conhecimento dessas características, já que o emissor é um dos seus componentes mais importante (PAES, 1985; SOARES et al., 1982).

O conhecimento das características hidráulicas de um emissor, especialmente quanto ao regime de escoamento, permite sua adaptação em diferentes condições, bem como a introdução de mudanças em sua construção e são geralmente descritas através da relação entre vazão e pressão, como também pelo expoente da carga de pressão o qual caracteriza o regime de fluxo (KARMELI, 1977). Na irrigação, a condução da água se processa, em geral em movimento permanente e uniforme, sob um regime de

escoamento turbulento, com exceção na irrigação por gotejamento onde o regime pode ser laminar. O critério utilizado é o número de Reynolds, o qual indica o grau de turbulência do movimento dentro do tubo.

O principal parâmetro no dimensionamento de microtubos é a estimativa da perda de carga causada pelo emissor em determinada condição de vazão e pressão. Conforme Khatri et al. (1979) e Ishaq & Ibrahim (1995), esta perda de energia é uma combinação entre a perda de carga na parede do tubo e perdas menores correspondentes à perda de carga localizada e à energia de velocidade.

Os microtubos apresentam, quando trabalham em regime laminar, os inconvenientes de alta sensibilidade a variações de temperatura da água e pressão, além de maiores riscos de entupimento (SOARES, 1981). Além disso, um entrave para o desenvolvimento dessa tecnologia é a necessidade de um projeto criterioso e detalhado, de forma que a vazão do microtubo seja estimada com bastante precisão. Para que a vazão do microtubo seja estimada com precisão é necessário que se utilize uma equação que correlacione vazão, comprimento, pressão na entrada do microtubo e diâmetro. Na literatura existem equações empíricas que expressam esta relação, porém são equações que não discriminam perda de carga localizada, perda de carga na parede do tubo nem energia de velocidade (SOUZA et al., 2006). Karmeli (1977); Azevedo Neto et al. (2005) e Khatri et al. (1979) realizaram estudos sobre hidráulica de microtubos e determinaram equações empíricas correlacionando vazão, comprimento, pressão na entrada do microtubo e diâmetro, conseqüentemente estimando com precisão a vazão do microtubo. Os referidos autores consideram que as perdas localizadas podem ser negligenciadas no regime laminar.

2.4 Perda de energia no microtubo

Khatri et al. (1979) e Ishaq e Ibrahim (1995) afirmam que a perda de energia no microtubo é composta pela perda de carga no microtubo, perda localizada na entrada e na saída do microtubo e a energia de velocidade. A literatura disponibiliza inúmeras equações empíricas que representa essa perda de energia no microtubo. Entretanto, essas equações englobam a perda de carga no microtubo e as perdas menores de forma a não ser possível separá-las. Para o maior entendimento desse fenômeno de perda de energia no microtubo e desenvolver um modelo matemático para dimensionamento de

microtubo em que esses componentes possam ser separados, Souza (2005) propôs um modelo que explicita a perda de carga no microtubo, a perda de carga localizada e a energia de velocidade. Para tanto, determinou-se o coeficiente de perda de carga localizada para alguns microtubos disponíveis no mercado.

O diâmetro do microtubo também é um importante parâmetro na determinação do fenômeno de perda de energia, visto que o diâmetro, o comprimento e a relação vazão x pressão serão utilizados para determinação do coeficiente K da perda de carga localizada. Devido às pequenas dimensões do diâmetro qualquer erro na sua determinação pode mascarar a estimativa da vazão. Dessa forma, é de suma importância determinar com precisão o diâmetro do microtubo, e não apenas utilizar os dados disponíveis no catálogo do fabricante (ALMEIDA, 2008).

2.5 Entupimento de emissores

De acordo com Nakayama & Bucks (1991) e Mélo (2007) são diversas as causas que podem provocar o entupimento de emissores prejudicando o fluxo da água e sua distribuição ao longo das linhas, principalmente nas linhas laterais, reduzindo a eficiência do sistema. O entupimento pode ocorrer pela presença de areia, silte, argila, fitoplâncton (incluindo algas), zooplânctons, larvas e ovos de lesma, bactérias, raízes, óxido de ferro, manganês e enxofre, precipitados, carbonato, fosfato, hidróxidos, ferro, uso de fertilizantes que aumentam a alcalinidade da água e precipitações direta de substâncias químicas devido à mistura incompatível de fertilizantes. Lopez et al. (1997); Scaloppi (1986) e Povia & Hills (1994) concordam que o entupimento de emissores é diretamente dependente da qualidade da água. Nesse sentido, para prevenção de problemas associados ao entupimento é imprescindível a utilização de água de boa qualidade e de filtros no sistema de irrigação com microtubos, uma vez que seus diâmetros internos são milimétricos (AIROLDI, 2007).

Capra & Scicolone (2004) afirmam que a filtração da água é a principal ação preventiva quanto ao entupimento de emissores, causada por partículas tanto de origem mineral quanto orgânica. Embora nem sempre apresente êxito, pois a solução do problema nem sempre está disponível e na maioria das vezes não é economicamente viável (BUCKS et al., 1979; NAKAYAMA & BUCKS, 1991). Por melhor que seja a qualidade da água de irrigação, as obstruções sempre aparecerão, criando a necessidade

de tratamento da mesma, para que ao longo da vida útil o sistema possa distribuí-la com a maior uniformidade possível (MÉLO, 2007).

Para culturas anuais de alto valor econômico e para culturas perenes, onde a longevidade do sistema é especialmente importante, emissores entupidos podem causar perdas econômicas para o agricultor. Além disso, ele é gradualmente desestimulado devido o problema da obstrução dos emissores o que gera o abandono de tecnologias mais eficientes, caso do gotejamento em substituição por métodos de irrigação menos eficientes (aspersão e superfície). No entanto, na maioria das vezes o entupimento dos emissores é resultante da combinação de dois ou mais fatores, especialmente entre os materiais de origem orgânica e inorgânica (ROMAN, 1999).

2.6 Avaliação de sistema de irrigação localizada

A quantidade de água aplicada e sua uniformidade de distribuição pelos emissores são informações importantes para o dimensionamento e manejo racional de um sistema de irrigação localizada (ALMEIDA, 2008). Para Wu & Gitlin (1974), a uniformidade de aplicação de água na linha lateral está relacionada com a variação na vazão dos emissores, que é função do comprimento da linha lateral, da pressão de entrada, do espaçamento dos gotejadores e da vazão total da linha. Para projetos de irrigação localizada já instalados em campo, Howell & Hiller (1974) afirmam que essa variação também é devida a perdas de carga por atrito ao longo da tubulação e nas inserções dos gotejadores, aos ganhos e perdas de energia de posição, à qualidade da matéria prima e dos processos de fabricação, às obstruções e efeitos da temperatura da água sobre o regime de escoamento e à geometria do gotejador.

O conceito de uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação, tem tido um grande avanço, devido a crescentes e inúmeras pesquisas científicas relacionadas à necessidade de conservação do recurso água; à competitividade pela água; ao custo da energia e demais insumos e à estabilização dos preços dos produtos agrícolas. Os sistemas de irrigação e os métodos de manejo da água devem proporcionar uma aplicação uniforme e eficiente (LEITE et al., 2008).

De acordo com Almeida (2008) o termo uniformidade de distribuição (UD) está relacionado aos parâmetros de desempenho do sistema em operação, associados à variabilidade da lâmina de irrigação, aplicada na superfície do solo. A uniformidade de

distribuição de água às plantas é fundamental para a obtenção da máxima produtividade da lavoura e/ou rentabilidade. Enquanto que, baixa uniformidade de distribuição significa que há excesso de água em certos pontos do campo e falta em outros (AIROLDI, 2007).

Para que a irrigação seja eficiente, é imperativo que os sistemas apresentem alta uniformidade de aplicação da água. Uma vez instalado um projeto de irrigação, é necessário verificar se as condições previstas inicialmente se confirmam em campo. Para tanto, deve-se avaliar as condições de pressão, vazão e lâminas d'água aplicadas (SILVA & SILVA, 2005).

A tabela 1 apresenta a classificação do sistema de irrigação em função da Uniformidade de Distribuição de água ao longo de uma linha lateral, segundo Bralts (1986) e calculada com base na equação 1.

Tabela 1. Critérios de classificação da uniformidade de distribuição (UD)

UD (%)	Classificação
≥ 90	Excelente
80 – 90	Bom
70 – 80	Regular
< 70	Ruim

Fonte: Bralts (1986)

$$UD = \frac{q_{25\%}}{\text{vazão média}} \times 100 \quad (01)$$

A vazão mínima é considerada como a média dos menores valores obtidos em ¼ do número de recipientes (OLITTA, 1984).

Além da UD outro coeficiente é necessário para verificação do desempenho do sistema e deve ser levado em consideração na avaliação técnica e na variabilidade existente entre os emissores, decorrente do processo de fabricação do microtubo. Solomon (1979) propôs um coeficiente de variação de fabricação (CVf) que permite conhecer a precisão de fabricação do emissor, o qual deve ser fornecido no catálogo do fabricante. Valores típicos oscilam entre 0,02 e 0,10 podendo algumas vezes ser observados valores mais elevados (SOUZA, 2005).

O efeito do entupimento dos emissores na malha hidráulica é um problema que confere ao sistema de irrigação por gotejamento, sua maior limitação levando muitos irrigantes a abandonarem precocemente o sistema (Ghaemi & Chieneg,1999) devido ao

reflexo na uniformidade de distribuição de água. Bucks et al. (1979) ressaltam que é imprescindível a avaliação do coeficiente do grau entupimento (GE) dos emissores utilizados para demonstração em termos práticos do comportamento dos emissores nos mais diversos tipos de água utilizada para irrigação.

2.7 Cultura do Melão

O melão (*Cucumis melo* L.) é uma das espécies de maior expressão econômica e social para a região Nordeste do Brasil. Atualmente, destacam-se como maiores produtores os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Bahia, sendo responsáveis por 95% da produção nacional (AGRIANUAL, 2009). As condições ambientais favorecem o cultivo dessa olerícola na região, por apresentar altas taxas de luminosidade (3.000 h/ano), baixos índices pluviométricos durante a maior parte do ano (< 600 mm) e baixa umidade relativa do ar, permitindo produzir melão quase o ano todo (EMBRAPA, 2003). Os principais mercados de exportação são os países da Europa (Alemanha, Espanha, França, Itália e Holanda), do Mercosul (Argentina e Uruguai) e com menor participação os EUA (ARAÚJO, 2006).

O melão é uma cultura de ciclo relativamente curto de crescimento lento até o 15º dia após a germinação, mas logo se intensifica, atingindo maiores incrementos de crescimento entre 30 e 45 dias e, a maturação dos frutos ocorre entre 70 a 75 dias após plantio, o que corresponde a quatro estádios distintos de desenvolvimento: inicial, vegetativo, frutificação e maturação. A duração de cada estágio depende, principalmente, da cultivar e das condições de clima e solo. O estágio inicial compreende o período que vai da sementeira até as plantas atingirem 10% de cobertura do solo, o vegetativo período entre o estabelecimento inicial da cultura e o pegamento dos frutos, com 80% do desenvolvimento máximo da parte aérea, o estágio de frutificação, vai do pegamento dos frutos até o início da maturação (este é o mais crítico quanto à deficiência de água no solo) e, o de maturação compreendido entre o início da maturação de frutos (5 a 10 dias antes da primeira colheita) e a última colheita. Neste estágio há uma sensível redução da necessidade de água pela cultura (20 a 30%) (EMBRAPA, 2003).

A necessidade hídrica da cultura varia de 300 a 550 mm por ciclo, dependendo das condições climáticas, ciclo da cultivar e sistema de irrigação (MARQUELLI et al.,

2003). Os melões produzidos tanto sob excesso quanto sob déficit de água são de qualidade inferior, geralmente com baixo teor de sólidos solúveis (SILVA et al., 2003).

Tyler & Lorenz (1964), constataram que a taxa de absorção de nutrientes acompanha a produção de matéria seca da planta. Neste sentido, Belfort et al. (1988) observaram que, para uma produção estimada de 19,6 t/ha de frutos, com uma população de 5.000 plantas/ha e dois frutos por planta, a planta exporta um total de 101,8 kg/ha de nutrientes assim distribuídos: 34,90 de N; 6,41 de P; 51,70 de K; 2,83 de Ca; 4,17 de Mg e 1,79 de S.

2.8 Fertirrigação

A irrigação teve avanço considerável nas últimas décadas, tanto no que diz respeito ao aprimoramento de novos métodos, como no incremento de novas áreas irrigadas. Dentre as vantagens da irrigação, destaca-se a possibilidade de se utilizar o próprio sistema como meio condutor e distribuidor de produtos químicos como fertilizantes, inseticidas, herbicidas, nematicidas, reguladores de crescimento, etc. (EMBRAPA, 2009).

A fertirrigação vem exercendo papel relevante na obtenção de maiores produtividades, bem como no uso racional dos insumos, o que possibilita aumento da competitividade comercial dos produtos agrícolas e a minimização dos impactos ambientais. Esta técnica tem como filosofia, aplicar os nutrientes conforme a curva de absorção das plantas, permitindo que a concentração na solução do solo seja suficiente para proporcionar a absorção dos elementos essenciais ao seu desenvolvimento em quantidade ideais. Em termos econômicos, Villas Bôas et al. (1999), comentam que o uso da fertirrigação amortiza mais rapidamente o custo do equipamento de irrigação. Podem-se citar ainda outras vantagens da fertirrigação: aumento da produtividade das culturas, melhor qualidade do produto agrícola, melhor eficiência na recuperação dos nutrientes, perdas mínimas de nutrientes ocasionadas por lixiviação, controle da concentração de nutrientes na solução do solo e a flexibilidade na escolha da época de distribuição do fertilizante em relação à exigência da cultura, em cada estágio de desenvolvimento fisiológico das mesmas (PAPADOPOULOS, 1999).

A realização de uma fertirrigação adequada implica em considerar alguns fatores, especialmente, a seleção da fonte de nutrientes a ser adotada. Em relação às

culturas, uma fonte de nutriente não é melhor que outra, porém as características peculiares de cada produto levam às diferenças que justificam melhor o uso de determinado produto em detrimento de outros. A escolha da fonte de adubação é função do sistema de irrigação, da cultura fertirrigada, do tipo de solo, da solubilidade de cada produto na água de irrigação e do custo. A solubilidade do produto é considerada um dos fatores mais importantes na fertirrigação, uma vez que fertilizantes e demais produtos insolúveis ou pouco solúveis podem ocasionar obstruções nas tubulações e nos emissores do sistema de irrigação (EMBRAPA, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido numa bancada de ensaio, instalada dentro de área coberta do Departamento de Tecnologia Rural (DTR), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife – PE. As coordenadas geográficas do local no sistema SAD 69 (South American Datum) são 08° 01' 01" de latitude Sul e 34° 56' 47" de longitude Oeste. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é As, megatérmico tropical (tropical úmido), com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C e com precipitações de outono e inverno (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2009).

Os emissores utilizados foram microtubos do tipo espaguete de polietileno fabricados pela Plasnova Louveira Indústria e Comércio Ltda, de diferentes diâmetros comerciais internos, 0,6; 0,7; 0,8 e 1,0 mm (Figura 1) funcionando como gotejadores de longo percurso sob regime laminar.

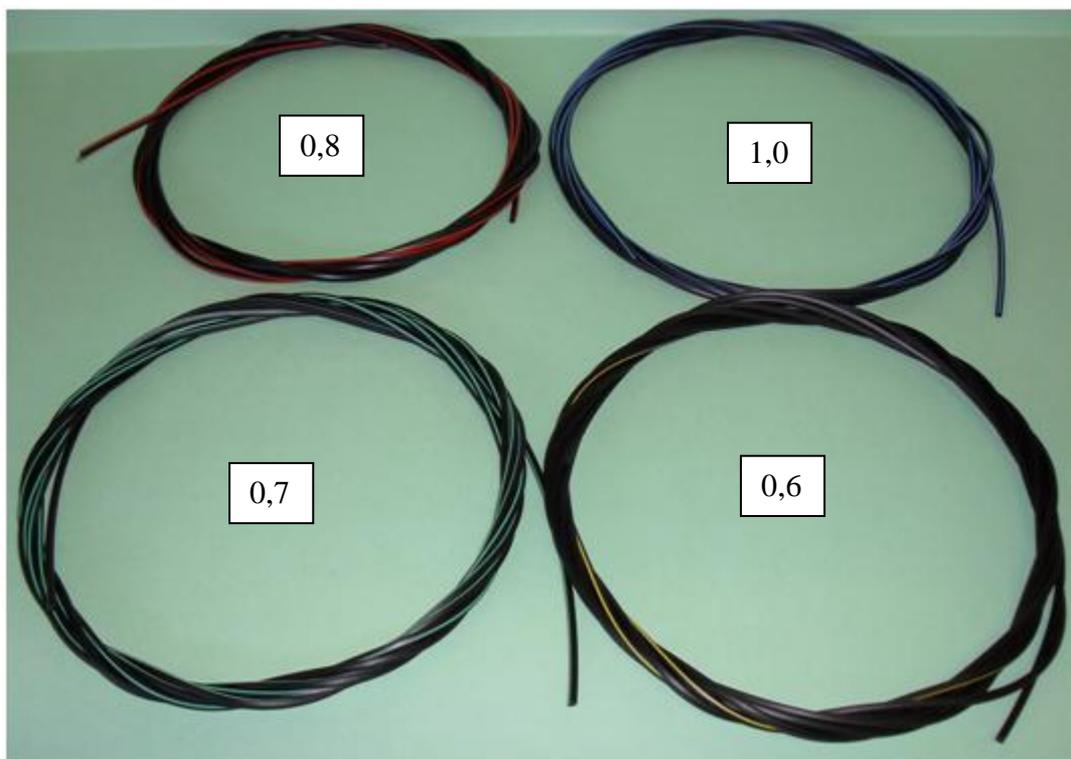


Figura 1. Microtubos utilizados nos ensaios

As etapas do experimento foram divididas em determinação hidrodinâmica do diâmetro interno dos microtubos conforme metodologia proposta por Almeida & Botrel (2010), dimensionamento do sistema de irrigação por gotejamento com microtubos, de

acordo com Souza (2005), medição da vazão dos emissores novos, determinação da necessidade hídrica e nutricional do melão, definição de sensibilidade dos emissores ao entupimento em função da fertirrigação adotada para cada fase da cultura, conforme recomendação da EMBRAPA (2003) e Dantas (2010). As variáveis respostas avaliadas neste estudo foram coeficiente de variação de fabricação, coeficiente de variação de vazão, uniformidade de distribuição de água ao longo da linha e grau de entupimento dos emissores ao longo do tempo de uso, sob influência da fertirrigação.

Os ensaios foram realizados no período de setembro de 2010 a junho de 2011, com avaliações periódicas do entupimento dos microtubos gotejadores sob fertirrigação.

3.1 Determinação do diâmetro interno efetivo do microtubo

Para identificação de possíveis diferenças no valor do diâmetro interno dos microtubos informado no catálogo do fabricante, decorrentes do processo de fabricação, testes foram realizados em laboratório para medição do diâmetro efetivo dos microtubos. No dimensionamento do comprimento dos microtubos, neste trabalho, foram utilizados os valores dos diâmetros internos determinados em laboratório e não aqueles fornecidos pelo fabricante.

Os ensaios para determinação do diâmetro interno efetivo dos microtubos foram conduzidos no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos da UFRPE, conforme metodologia proposta por Almeida & Botrel (2010) denominada determinação hidrodinâmica (Figura 2). Algumas recomendações são destacadas pelos autores na execução destes ensaios, entre elas pode-se citar: o reservatório superior deve ser maior que o inferior numa amplitude suficiente (\approx quatro vezes) para que se possa negligenciar a variação da carga hidráulica proveniente do volume coletado e a água utilizada deve ser destilada, fervida e resfriada a vácuo. Para tanto, após a fervura da água, o balde foi vedado com o filme plástico e fitas crepe criando um ambiente sob vácuo, até o completo resfriando a água à temperatura ambiente, a qual estaria pronta para o uso no ensaio de determinação hidrodinâmica do diâmetro interno dos microtubos.

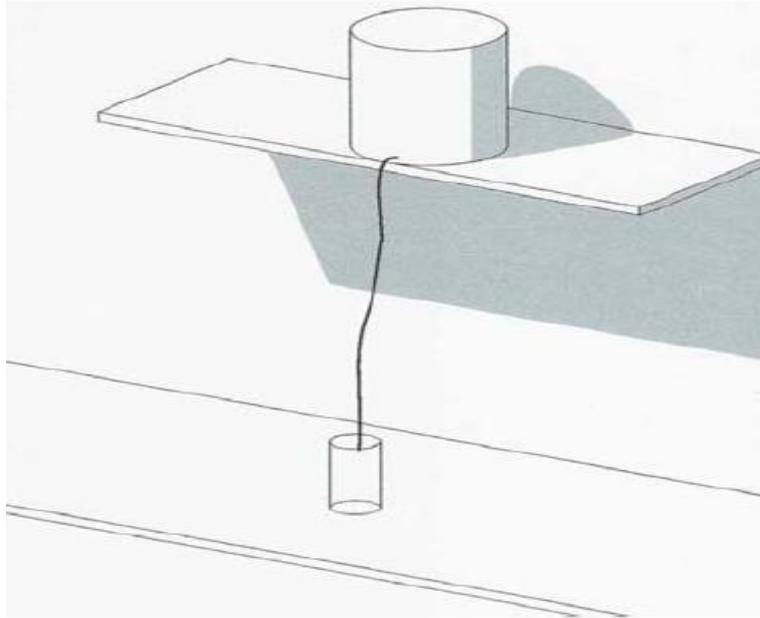


Figura 2. Esquema de coleta de vazão para determinação do diâmetro interno efetivo do microtubo (ALMEIDA & BOTREL, 2010)

A determinação hidrodinâmica do diâmetro interno dos microtubos consistiu em deixar a água fluir por gravidade, via microtubo com 3 m de comprimento, do reservatório superior para o inferior, de peso conhecido, destinado à coleta, durante três minutos, e pesado posteriormente. O volume de água foi computado utilizando peso e densidade, conseqüentemente obteve-se a taxa de fluxo calculada. A diferença de nível entre reservatórios foi de 2 m de comprimento. Depois de realizadas cinco repetições, calculou-se o valor médio do diâmetro interno efetivo de cada microtubo através da seguinte equação indicada por Almeida & Botrel (2010).

$$D = \left(\frac{0,0826264 Q^2 + 4,153269 \nu L Q}{z_1} \right)^{0,25} \quad (02)$$

em que:

D = Diâmetro interno do microtubo, m;

Q = Vazão de saída do microtubo, $m^3 s^{-1}$;

ν = Viscosidade cinemática da água, $m^2 s^{-1}$;

L = Comprimento do microtubo, m;

V = Velocidade da água no microtubo, $m s^{-1}$;

z_1 = Diferença de nível entre reservatórios equivalente à carga de pressão, m.c.a.

3.2 Bancada de Ensaio

A bancada foi confeccionada em estrutura de madeira com as dimensões de 5,2 m de comprimento, 1,2 m de largura e altura de 1,0 m, composta de quatro linhas laterais de polietileno com diâmetro de 13,6 mm, instaladas em nível e espaçadas em 25 cm entre si (Figura 3). Em cada linha lateral foram instalados 25 emissores iguais, ou seja, de mesmo diâmetro interno (0,6; 0,7; 0,8 e 1,0 mm, respectivamente), espaçados em 20 cm. A inserção do microtubo na linha lateral foi padronizada em 5 mm, visando uniformizar a perda de carga localizada ao longo da linha. Foi estabelecido utilizar o maior número de emissores possíveis no intuito de reduzir erros e representar melhor a condição real para sistema de irrigação em campo (RESENDE, 1999). As canaletas de drenagem/circulação da água e solução nutritiva, instaladas ao lado de cada linha lateral, foram compostas por tubos de 100 mm de diâmetro cortados ao meio, em sentido longitudinal.

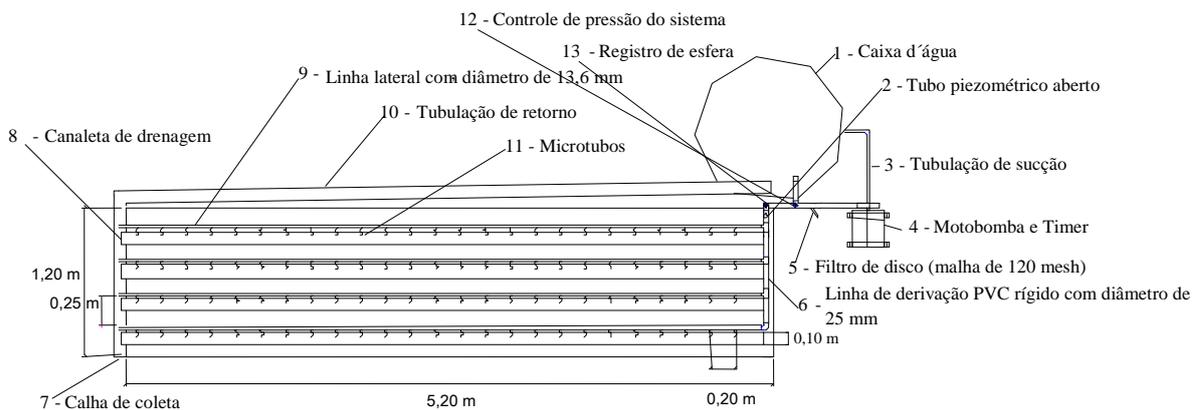


Figura 3. Vista superior da bancada de ensaios

A alimentação do sistema de irrigação foi composta por um conjunto motobomba Schneider®, elétrico com $\frac{3}{4}$ cv, um tubo piezométrico aberto (mangueira flexível transparente graduada) colocado no início da linha de derivação, para medir a pressão de entrada na linha, em metros de coluna de água (m.c.a.). Na tubulação de recalque, após a bomba, foi instalado um filtro de disco malha de 120 mesh para a retenção de partículas de diâmetro superior a 22 μ m, um timer para operacionalização do sistema de liga e desliga no conjunto motobomba, registros de esfera para controle

da vazão e pressão de alimentação, bem como um reservatório de fibra de vidro com capacidade para 500 L para armazenamento e abastecimento da água e solução nutritiva. Na extremidade final da bancada foi instalada uma calha para coleta da água das quatro linhas laterais e a reconduzia de volta ao reservatório, do qual era bombeada para o sistema com os gotejadores, garantindo assim a recirculação da água em sistema fechado (Figura 4).



Figura 4. Visualização da bancada de ensaios em funcionamento

3.3 Dimensionamento do sistema de irrigação

3.3.1 Hidráulica de linhas laterais

Em linhas laterais o escoamento é classificado como sendo escoamento em marcha com vazão decrescente, considerando a variação de vazão e pressão ao longo da linha, no limite de 10% para vazão. Caso haja variações de vazão superiores à 10% poderá ocorrer uma elevada desuniformidade de aplicação de água ao longo da linha, o que refletirá na produtividade. No caso da irrigação localizada, se a linha lateral estiver em nível, a variação de pressão ao longo da linha será igual à curva do gradiente de energia (AZEVEDO NETO et al., 2005).

Para o dimensionamento da linha lateral é preciso considerar a perda de carga ao longo da linha. Existem várias equações que podem ser utilizadas, no entanto a equação de Darcy-Weisbach (Equação 3) é amplamente aceita para este tipo de dimensionamento. Da mesma forma existem vários métodos para dimensionar linha lateral, no entanto, o chamado de trecho a trecho considera a perda de carga em cada trecho (entre emissores), bem como, o desnível no trecho, desta forma estima a pressão na entrada do emissor (ALMEIDA, 2008). A equação de Darcy-Weisbach, chamada de equação universal de perda de carga, pode ser utilizada tanto no regime laminar quanto no turbulento, o que amplia sua aplicação e uso.

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (03)$$

em que:

hf = perda de carga, m;

f = fator de atrito na parede do tubo, adimensional;

L = comprimento do microtubo, m;

D = diâmetro do microtubo, m;

V = velocidade da água no microtubo, m s⁻¹;

g = aceleração da gravidade, m s⁻².

Na irrigação localizada com microtubos, a definição precisa da carga de pressão dos emissores é essencial, pois com base nestes valores é definido o

comprimento do microtubo. O método trecho a trecho oferece esta precisão (SOUZA, 2005).

3.3.2 Hidráulica dos microtubos

O dimensionamento de microtubo é realizado com base no cálculo de perda de carga causada pelo emissor em determinada condição de vazão e pressão (SOUZA, 2005). Conforme Khatri et al. (1979) e Ishaq & Ibrahim (1995) essas perdas de energia é uma combinação entre perda de carga no tubo e perdas menores, correspondentes à perda de carga localizada e a energia de velocidade (SOUZA, 2005).

O modelo proposto por Souza (2005) demonstra que é importante considerar a perda de carga localizada no cálculo de perda de energia no microtubo (Equação 4), no entanto, considera um K constante para cada microtubo de diferente diâmetro interno (Tabela 2). Este modelo pode ser utilizado para dimensionamento de microtubos, desde que os parâmetros do modelo sejam previamente ajustados e que o regime de escoamento seja laminar.

$$H = \frac{64 \cdot \nu \cdot 4}{\pi \cdot 2 \cdot g} \left(\frac{L \cdot Q}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2 \cdot 2 \cdot g} \left(\frac{Q^2}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2 \cdot 2 \cdot g} \left(\frac{K \cdot Q^2}{d^4} \right) \quad (04)$$

em que:

H = Carga piezométrica na entrada do microtubo, m.c.a;

Q = Vazão do microtubo, m³ s⁻¹;

L = Comprimento do microtubo, m;

ν = Viscosidade cinemática da água, m² s⁻¹;

g = Aceleração da gravidade, m s⁻²;

K = Coeficiente de perda de carga localizada (adimensional);

d = Diâmetro interno do microtubo, m.

Os valores do coeficiente de perda de carga localizada (K) para os diferentes diâmetros internos dos microtubos adotados neste trabalho foram definidos por Souza (2005) conforme apresentado na tabela a seguir e aplicados na equação 4.

Tabela 2. Valores do coeficiente de perda de carga localizada (K) ocorrida na entrada do microtubo

Diâmetro interno do microtubo (mm)	K
1,0	8,52
0,8	10,68
0,7	9,21
0,6	9,85

Fonte: Souza (2005)

3.4 Funcionamento do sistema de irrigação e condução do experimento

A operação do sistema de irrigação teve como meta simular o fornecimento de água e nutrientes para atender as exigências hídricas e nutricionais da cultura do melão (*Cucumis melo* L). Para tanto, aplicou-se água 18 h/dia com intervalo de 6 h de repouso. Como a vazão de projeto estabelecida para todos os emissores foi de 0,6 L/h e considerando o tempo diário de funcionamento, aplicou-se 10,8 L/dia/emissor. Com base nas informações da literatura, para completar o ciclo da cultura, atendendo suas exigências hídricas e nutricionais, foi necessário que o sistema funcionasse 383,3 h, correspondendo a 21 dias e sete horas de observações, o que equivale aos 75 dias de condução em campo. Essa metodologia operacional foi utilizada nos três tratamentos adotados neste trabalho. Assim os ensaios totalizaram 1150 h de funcionamento do sistema para os três tratamentos, correspondendo aos 64 dias.

O primeiro tratamento foi aplicado sem a adição de nutrientes na água, sendo assim, este foi considerado como tratamento controle para este estudo. Diariamente eram feitas as medições e registros de temperatura da água em diferentes horários, três a quatro vezes por dia, da pressão de alimentação do sistema de irrigação, do pH e da condutividade elétrica (CE) da água, bem como o ajuste da pressão do sistema em 1 m.c.a.

No segundo tratamento foi realizada a aplicação de fertilizantes via água de irrigação dando-se início a simulação de um novo ciclo da cultura do meloeiro. As doses de nutrientes foram definidas em função do ciclo fenológico da cultura (quatro fases) e recomendação da EMBRAPA (2003). Em termos de tempo médio de duração

para cada fase tem-se que a primeira fase da cultura correspondeu há 21 dias, a segunda fase 20 dias, a terceira fase 20 dias e a quarta fase 14 dias perfazendo um total de 75 dias. Ainda, de acordo com recomendações da EMBRAPA (2003), tomou-se o cuidado de se calcular criteriosamente a quantidade de nutrientes, conforme recomendação de adubação para todo o ciclo da cultura. A quantidade de água e fertilizantes, utilizada neste estudo, atendeu as exigências fisiológicas da cultura do meloeiro em cada fase correspondente.

Para o preparo da solução nutritiva utilizou-se como base as exigências hídricas da cultura do meloeiro. De acordo com Marquelli et al. (2003), a necessidade hídrica da cultura varia de 230 a 550 mm ciclo/planta. Já a EMBRAPA (2003) recomenda a utilização de 300 a 550 mm ciclo/planta. As faixas de exigência hídrica podem variar muito, dependendo das condições climáticas, ciclo da cultivar, tipo de solo e sistema de irrigação utilizado (MARQUELLI et al., 2003). Por isso, antes do plantio, esses aspectos devem ser observados para evitar futuros problemas na lavoura. Os meloeiros produzidos tanto sob excesso quanto sob déficit de água são de qualidade inferior, geralmente com baixo teor de sólidos solúveis, devido também à queda de folhas (SILVA et al., 2003). Assim, neste trabalho foi estabelecido o valor de 300 mm/ciclo/planta que está dentro da faixa de exigência hídrica da cultura, para o qual foi ajustado o cálculo das aplicações de fertilizantes. Este valor também permitiu manter o nível da água do reservatório numa altura aceitável para o bom funcionamento do sistema de motobomba utilizado.

3.5 Nutrientes e solução nutritiva

A solução nutritiva, para o segundo tratamento, foi preparada conforme recomendação de adubação para a cultura do melão pela EMBRAPA (2003), e conforme Dantas (2010) para o terceiro tratamento. Para ambas as recomendações, foram obedecidas as exigências nutricionais da cultura durante cada fase, como também respeitando os critérios no preparo da solução como, por exemplo, manter o pH da solução entre 5,5 e 6,0; condutividade elétrica da água igual ou abaixo de 2 dS m⁻¹ e o uso de fertilizantes com o mínimo de impurezas.

As fontes de nutrientes utilizadas seguiram padrões de compatibilidade entre si. Nesta pesquisa optou-se por utilizar ácidos e fertilizantes nitrogenados devido, na sua

grande maioria, serem relativamente livres de limitações para fins de fertirrigação. Para nitrogênio foi adotada como fonte a uréia (45% de N), para potássio, cloreto de potássio (60% de K_2O), fósforo, ácido fosfórico (45,44% H_3PO_4), como fonte de cálcio, nitrato de cálcio (15% N e 34% Ca) e para magnésio e enxofre utilizou-se o sulfato de magnésio (10% de Mg e 13% de S). No entanto, constatou-se maior percentagem do enxofre no sulfato de magnésio onde, após ajuste do enxofre e seguindo-se a recomendação de adubação, verificou-se déficit de magnésio, então optou-se pela utilização do cloreto de magnésio (11,8% de Mg), no intuito de balancear a quantidade de magnésio requerida pela recomendação.

De posse dos dados apresentados na Tabela 3, pesou-se cada fertilizante em balança de precisão de 0,01 g e completado o volume para 1000 mL de água para completa diluição, com auxílio de um bastão de vidro. Em seguida, esta solução concentrada foi adicionada ao reservatório contendo 300 L de água, no qual foi homogeneizada a solução, com auxílio de um bastão inerte de plástico. Ao final deste procedimento foram medidos os valores de pH e CE para avaliar a necessidade de ajustes da acidez ou alcalinidade da solução nutritiva. Quando necessário, utilizou-se como base o hidróxido de sódio (NaOH à 40%) para aumentar o pH e ácido clorídrico (HCl) para diminuí-lo.

Ao final de cada fase foi realizada revisão e manutenção geral da bancada de ensaios, envolvendo a limpeza das linhas laterais e microtubos com água limpa, lavagem do reservatório com água e sabão neutro, limpeza do filtro de disco, como também ajuste e apertos de peças especiais. Após esses procedimentos era preparada uma nova solução nutritiva correspondendo ao início dos procedimentos equivalentes à fase vegetativa seguinte da cultura do meloeiro.

Tabela 3. Composição química nutricional para cada fase do segundo tratamento

Fertilizantes	-----g m ⁻³ -----						
	N	P	K	Ca	Mg	S	
FASE 1							
Uréia	108,00	48,60	-	-	-	-	-
Nitrato de cálcio	44,10	6,61	-	-	15,10	-	-
Cloreto de potássio	34,00	-	-	20,40	-	-	-
Cloreto de magnésio	82,00	-	-	-	-	9,68	-
Ácido fosfórico	73,40	-	33,03	-	-	-	-
Sulfato de magnésio	64,50	-	-	-	-	6,45	8,38
Total	-	55,26	33,14	20,40	15,10	16,29	8,45
Recomendação	-	55,00	33,03	20,35	14,99	16,15	8,42
% aplicada	-	100,39	100,00	100,22	100,00	99,86	99,57
FASE 2							
Uréia	420,00	189,00	-	-	-	-	-
Nitrato de cálcio	42,60	6,39	-	-	14,48	-	-
Cloreto de potássio	260,00	-	-	156,00	-	-	-
Cloreto de magnésio	104,00	-	-	-	-	12,27	-
Ácido fosfórico	69,30	-	31,46	-	-	-	-
Sulfato de magnésio	84,00	-	-	-	-	8,40	10,92
Total	-	195,39	31,46	156,00	14,48	20,67	10,92
Recomendação	-	194	31,46	155,29	14,46	20,53	10,89
% aplicada	-	100,72	100,01	100,45	100,11	100,68	100,23
FASE 3							
Uréia	800,00	360,00	-	-	-	-	-
Nitrato de cálcio	54,70	8,20	-	-	18,59	-	-
Cloreto de potássio	578,00	-	-	346,80	-	-	-
Cloreto de magnésio	194,00	-	-	-	-	22,89	-
Ácido fosfórico	92,00	-	41,76	-	-	-	-
Sulfato de magnésio	103,00	-	-	-	-	10,30	13,39
Total	-	368,20	41,76	346,80	18,59	33,19	13,39
Recomendação	-	362,00	41,77	346,30	18,50	33,00	13,30
% aplicada	-	101,47	100,16	100,14	100,53	100,58	100,68
FASE 4							
Uréia	144,00	64,80	-	-	-	-	-
Nitrato de cálcio	24,00	3,60	-	-	8,16	-	-
Cloreto de potássio	158,00	-	-	94,80	-	-	-
Cloreto de magnésio	94,00	-	-	-	-	11,09	-
Ácido fosfórico	48,60	-	22,06	-	-	-	-
Sulfato de magnésio	24,70	-	-	-	-	2,47	3,21
Total	-	68,40	22,06	94,80	8,16	13,56	3,21
Recomendação	-	68,00	22,00	94,60	8,10	13,50	3,21
% aplicada	-	100,59	100,29	100,21	100,74	100,46	100,03

No terceiro tratamento além de seguir a recomendação de adubação indicada por Dantas (2010), descritas na Tabela 4, também adotou-se o uso de um fator de diluição (Tabela 5), sugerido pelo mesmo autor, visando prevenir possíveis precipitações de nutrientes nas paredes das tubulações e no reservatório de água.

Tabela 4. Composição química nutricional para cada fase do terceiro tratamento

Fertilizantes	-----g m ⁻³ -----					
	N	P	K	Ca	Mg	
FASE 1						
Uréia	499,50	224,78	-	-	-	-
Nitrato de cálcio	134,28	20,14	-	-	45,66	-
Cloreto de potássio	104,27	-	-	62,56	-	-
Cloreto de magnésio	54,85	-	-	-	-	6,47
Ácido fosfórico	411,35	-	186,75	-	-	-
Total	-	244,91	186,75	62,56	45,65	6,47
Recomendação	-	224,77	186,75	62,56	45,65	6,47
% aplicada	-	108,96	100,00	100,00	100,01	100,04
FASE 2						
Uréia	499,50	224,78	-	-	-	-
Nitrato de cálcio	134,28	20,14	-	-	45,66	-
Cloreto de potássio	104,27	-	-	62,56	-	-
Cloreto de magnésio	54,85	-	-	-	-	6,47
Ácido fosfórico	411,35	-	186,75	-	-	-
Total	-	244,92	186,75	62,56	45,66	6,47
Recomendação	-	224,77	186,75	62,56	45,65	6,47
% aplicada	-	108,96	100,00	100,00	100,01	100,04
FASE 3						
Uréia	508,70	228,91	-	-	-	-
Nitrato de cálcio	312,31	46,84	-	-	106,18	-
Cloreto de potássio	185,77	-	-	111,46	-	-
Cloreto de magnésio	328,19	-	-	-	-	38,72
Ácido fosfórico	245,19	-	111,31	-	-	-
Total	-	275,75	111,31	111,46	106,18	38,72
Recomendação	-	275,75	111,31	111,46	106,18	38,72
% aplicada	-	100,00	100,01	100,01	100,01	100,02
FASE 4						
Uréia	59,76	26,89	-	-	-	-
Cloreto de potássio	47,31	-	-	28,38	-	-
Total	-	26,89	-	28,38	-	-
Recomendação	-	26,89	-	28,38	-	-
% aplicada	-	100,01	-	100,02	-	-

Tabela 5. Fator de diluição recomendado por Dantas (2010)

Fertilizante	Fator de diluição
Uréia	2,1
Cloreto de potássio	4,5
Nitrato de cálcio	2,5
Cloreto de magnésio	-
Sulfato de magnésio	4,4
Ácido fosfórico	4,5

Os fatores de diluição foram também utilizados para a determinação do volume de água necessário para a diluição dos fertilizantes, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Volume de água após os cálculos com a utilização de fatores de diluição de fertilizantes

Fases	Volume de água (L)				
	KCl	H₃PO₄	Ca (NO₃)₂	Uréia	MgSO₄
1	469,20	1.851,06	335,70	1.048,91	241,32
2	469,20	1.851,06	335,70	1.048,91	241,32
3	835,96	1.103,37	780,77	1.840,17	1.061,82
4	212,90	0	0	120,1	0

3.6 Avaliação do sistema de irrigação

A vazão dos emissores foi medida no início e no final de cada período de tempo, em horas de funcionamento do sistema, considerando a simulação correspondente a cada fase fenológica da cultura. As leituras da massa de água coletada foram mensuradas pelo método gravimétrico com o uso de uma balança de precisão de 0,01 g. Os recipientes utilizados para coleta foram copos descartáveis com capacidade de até 150 mL os quais foram previamente pesados e identificados em função do número do emissor em cada linha lateral. O tempo de coleta de água foi de aproximadamente 7 minutos, tempo suficiente para coletar um determinado volume de água suficiente para pesagem.

Durante cada bateria de leituras foi realizada a medição da temperatura da solução para verificação da viscosidade cinemática. A pressão de alimentação do sistema foi regulada e mantida em 1 m.c.a durante todo o ensaio. Esses procedimentos

foram realizados três vezes em cada linha lateral garantindo desta forma a minimização de erros tanto mecânicos como pessoal. De posse dos dados, com o auxílio da planilha do Microsoft Excel®, foram realizados os devidos cálculos para determinação da vazão em cada emissor (Equações 5, 6 e 7).

$$q_{\text{novo}} = \frac{P}{1000 t} 60 \quad (05)$$

em que:

q_{novo} = Vazão do gotejador novo, L h⁻¹;

P = Massa da água coletada, g;

t = Tempo de coleta, min.

$$q_{\text{usado}} = \frac{P}{1000 t} 60 \quad (06)$$

em que:

q_{usado} = Vazão do gotejador usado, L h⁻¹.

$$\bar{q}_{\text{novo}} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{N} \quad (07)$$

em que:

\bar{q}_{novo} = Vazão média do gotejador novo, L h⁻¹;

q_i = Vazão de cada emissor, L h⁻¹;

N = Número de emissores na linha lateral.

Para os cálculos do coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação de vazão (CVq), uniformidade de distribuição (UD) e grau de entupimento (GE) foram utilizadas as equações 08 a 11.

$$CVf = \frac{S_{\text{novo}}}{\bar{q}_{\text{novo}}} 100 \quad (08)$$

em que:

CVf = Coeficiente de variação da fabricação, %;

S_{novo} = Desvio padrão da vazão dos emissores novos (primeira leitura), L h⁻¹.

$$CVq = \frac{S_{\text{usado}}}{\bar{q}_{\text{usado}}} 100 \quad (09)$$

em que:

CVq = Coeficiente de variação da vazão, %;

S_{usado} = Desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h⁻¹;

\bar{q}_{usado} = Vazão média do gotejador usado, L h⁻¹.

Para uso destes coeficientes foi adotado o critério de classificação de Solomon (1979) apontado na Tabela 7.

Tabela 7. Critérios de classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf)

Valor	Classificação
≤ 0,05	Excelente
0,05 a 0,07	Médio
0,07 a 0,11	Marginal
0,11 a 0,15	Pobre
> 0,15	Inaceitável

$$UD = \frac{q_{25\% \text{ usado}}}{\bar{q}} 100 \quad (10)$$

em que:

UD = Uniformidade de distribuição, %;

$q_{25\% \text{ usado}}$ = Vazão média de ¼ dos menores valores de vazão dos emissores, L h⁻¹;

\bar{q} = Vazão média dos gotejadores, L h⁻¹.

$$GE = \left[1 - \frac{q_{\text{usado}}}{q_{\text{novo}}} \right] 100 \quad (11)$$

em que:

GE = Grau de entupimento, %.

3.7 Caracterização físico-química da água de irrigação

A água utilizada no ensaio foi proveniente do sistema de abastecimento do DTR/UFRPE. A caracterização físico-química desta água foi realizada no Laboratório de Análise de Água, Plantas e Rações do Instituto Agronômico de Pernambuco IPA, cujos resultados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Parâmetros físico-químicos da água utilizada nesta pesquisa

Parâmetros	Unidade
Cl ⁻	11,0 mg L ⁻¹
SO ₄ ²⁻	4,67 mg L ⁻¹
P	0,0 mg L ⁻¹
Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃)	0,0 mg L ⁻¹
Na ⁺	2,53 mg L ⁻¹
K ⁺	1,17 mg L ⁻¹
Ca ²⁺	0,80 mg L ⁻¹
Mg ²⁺	1,94 mg L ⁻¹
Ferro total (Fe ²⁺)	0,068 mg L ⁻¹
Cu	0,0 mg L ⁻¹
Mn	0,0 mg L ⁻¹
Zn	0,0 mg L ⁻¹
Cor aparente	0,0 uH ²
Turbidez	1,37 uT
Sedimento em suspensão	38 mg L ⁻¹
CE	74,24 uS/cm a 25°C
pH	5,5
CO ₂	0,0 mg L ⁻¹
Dureza total (CaCO ₃) *	10 mg L ⁻¹

A medição do pH, temperatura e condutividade elétrica da solução foi realizada diariamente no intuito de monitorar e ajustar a solução e, conseqüentemente manter suas características de acordo com a recomendação nutricional para a planta.

3.8 Análise Estatística

Os dados foram analisados com base na análise estatística descritiva realizada na planilha eletrônica do software Excel®. A interpretação dos dados foi realizada por meio dos desvios padrão, médias das três repetições de cada um dos 25 emissores de cada lateral, uniformidade de distribuição, do coeficiente de variação de vazão e grau de entupimento, em resposta aos tratamentos adotados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do método hidrodinâmico para determinação do diâmetro interno dos microtubos estão apresentados na Tabela 9. Estes foram os valores utilizados no dimensionamento dos microtubos montados na bancada de ensaios.

Tabela 9. Valores médios do diâmetro efetivo de cada microtubo utilizado e seus comprimentos

Diâmetro nominal* (mm)	Diâmetro efetivo (eq. 02) (mm)	Comprimentos calculados (eq. 04) (cm)
0,6	0,733	36,5
0,7	0,824	60,9
0,8	0,951	110
1,0	1,147	237

* Valores fornecidos pelo fabricante via catálogo do produto.

Souza (2005) nas avaliações hidráulicas encontrou valores próximos ao verificado nesta pesquisa (0,713; 0,722; 0,835 e 1,063 mm, respectivamente para 0,6; 0,7; 0,8 e 1,0 mm), o que este comprova a precisão do método hidrodinâmico. Almeida & Botrel (2010) relatam que os diâmetros efetivos dos microtubos determinados hidrodinamicamente devem ser tomados por referência no dimensionamento de projetos de irrigação localizada, devido representar os valores reais do diâmetro em função da variação de fabricação de diferentes lotes.

Os comprimentos dos microtubos (Tabela 9) calculados pela equação 04, na qual se aplicou o diâmetro efetivo, determinado hidrodinamicamente, juntamente com a vazão de projeto (0,6 L/h), o coeficiente K de perda de carga localizada (Tabela 2), a pressão de alimentação do sistema de 1 mca e a temperatura da água, foram utilizados no dimensionamento de cada linha lateral da bancada de ensaios.

Com base nos resultados da vazão obtidos na bancada de ensaios foi verificado no tratamento controle que os microtubos novos (Tabela 10) com diâmetros internos nominais de 0,6; 0,7; 0,8 e 1,0 mm obtiveram, respectivamente, valores de coeficiente de fabricação (CVf) iguais a 1,86; 2,28; 3,88 e 2,51%. Estes valores não estavam informados no catálogo do fabricante. De acordo com a classificação proposta por Solomon (1979) e ASAE (1998) o coeficiente de uniformidade de fabricação foi caracterizado como excelente e, bom para ABNT (1986) o que comprova a qualidade de

fabricação do microtubo. Ainda conforme a classificação do coeficiente de variação de fabricação citada por Keller & Bliesner (1990) todos os emissores demonstraram ser excelentes com $CV_f < 5\%$. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza (2005) onde os mesmos microtubos obtiveram 2,25; 1,64; 1,70 e 1,74% de CV_f , respectivamente. Esta informação torna-se muito importante, pois garante ao projetista que a qualidade do emissor não está entre as possíveis causas da baixa uniformidade de vazão do sistema. No entanto, Resende (1999) afirma que o desenvolvimento dos processos de fabricação diminuiu consideravelmente a influência deste fator sobre a uniformidade de distribuição de água, sendo assim, é mais recomendada a utilização de coeficientes de uniformidade que levam em consideração o desempenho dos gotejadores no campo.

Durante todo experimento não foi verificado vazamento nas linhas laterais, nos pontos de inserção dos microtubos, nas condições deste estudo, o que corrobora Souza (2005) demonstrando que a introdução direta do microtubo na linha é uma alternativa viável de montagem do sistema.

Tabela 10. Desempenho do sistema de irrigação durante o tratamento controle

Tratamento 1	Emissores	
	Novos	Usados
0,6 mm		
Coef. variação de fabricação (CV_f) %	1,86	-
Coef. variação de vazão (CV_q) %	-	22,39
Uniformidade de distribuição (UD) %	97,82	69,95
Grau de entupimento (GE) %	-	26,06
0,7 mm		
Coef. variação de fabricação (CV_f) %	2,28	-
Coef. variação de vazão (CV_q) %	-	27,17
Uniformidade de distribuição (UD) %	97,32	63,03
Grau de entupimento (GE) %	-	34,58
0,8 mm		
Coef. variação de fabricação (CV_f) %	3,88	-
Coef. variação de vazão (CV_q) %	-	16,02
Uniformidade de distribuição (UD) %	96,42	82,36
Grau de entupimento (GE) %	-	36,71
1,0 mm		
Coef. variação de fabricação (CV_f) %	2,51	-
Coef. variação de vazão (CV_q) %	-	17,15
Uniformidade de distribuição (UD) %	96,72	75,94
Grau de entupimento (GE) %	-	32,30

Solomon (1979) relata sobre a importância de se considerar a variação da vazão dos gotejadores em função da variação de fabricação. Neste trabalho, os coeficientes de variação de vazão (CVq) encontrados na maioria das avaliações realizadas foram classificados como inaceitável segundo a classificação proposta por Solomon (1979) (Tabela 7) e em todos os tratamentos (Tabelas 10, 11 e 12).

Por outro lado, o microtubo com diâmetro 0,8 mm do tratamento três (Tabela 12) nas fases um e dois apresentaram melhores resultados de CVq com o sistema funcionando 209 h correspondendo a 12 dias nas condições do estudo e há 41 dias em campo, para a primeira e segunda fases, sendo classificado como pobre para Solomon (1979). Ainda no mesmo diâmetro de microtubo, na fase quatro com o sistema funcionando 71 h correspondendo aos quatro dias nas condições do estudo e há 14 dias em campo, o CVq obteve classificação marginal para o mesmo autor. Sendo ainda que, o microtubo de diâmetro igual a 1,0 mm na fase quatro, deste mesmo tratamento, com funcionamento do sistema em 71 h, também obteve classificação marginal para a mesma classificação.

Tabela 11. Desempenho dos emissores durante o segundo tratamento.

Tratamento 2	Fases			
	1	2	3	4
0,6 mm				
Coef. variação de vazão (CVq) %	28	40	29	36
Uniformidade de distribuição (UD) %	65,22	30,90	60,10	46,22
Grau de entupimento (GE) %	52,42	71,66	51,43	53,84
0,7 mm				
Coef. variação de vazão (CVq) %	29,66	24,08	13,99	18,96
Uniformidade de distribuição (UD) %	56,22	64,28	80,65	67,82
Grau de entupimento (GE) %	45,36	50,16	32,89	40,41
0,8 mm				
Coef. variação de vazão (CVq) %	21,88	12,68	12,87	16,99
Uniformidade de distribuição (UD) %	75,30	89,02	81,66	76,93
Grau de entupimento (GE) %	42,15	39,29	35,59	41,68
1,0 mm				
Coef. variação de vazão (CVq) %	27,39	19,28	17,61	16,75
Uniformidade de distribuição (UD) %	61,26	70,79	75,38	77,70
Grau de entupimento (GE) %	43,66	45,62	37,15	41,30

Tabela 12. Desempenho dos emissores durante o terceiro tratamento.

Tratamento 3	Fases			
	1	2	3	4
0,6 mm				
Coef. variação de vazão (CVq) %	29	18	18	17
Uniformidade de distribuição (UD) %	54,32	78,93	79,11	79,37
Grau de entupimento (GE) %	53,21	37,54	39,16	43,69
0,7 mm				
Coef. variação de vazão (CVq) %	15,27	15,98	12,24	21,07
Uniformidade de distribuição (UD) %	75,98	78,93	84,35	67,83
Grau de entupimento (GE) %	37,07	31,32	38,23	41,99
0,8 mm				
Coef. variação de vazão (CVq) %	11,10	10,24	14,70	7,95
Uniformidade de distribuição (UD) %	88,86	88,12	79,23	90,75
Grau de entupimento (GE) %	40,16	34,65	32,31	36,74
1,0 mm				
Coef. variação de vazão (CVq) %	14,95	12,67	12,24	9,30
Uniformidade de distribuição (UD) %	78,33	83,77	84,20	88,52
Grau de entupimento (GE) %	41,99	32,26	34,43	36,59

No geral os resultados do estudo com microtubos concentraram-se na faixa de classificação: inaceitável, pobre e marginal (SOLOMON, 1979). Observa-se que os melhores CVq encontrados neste estudo foram nos microtubos de maiores diâmetros (0,8 e 1,0 mm), como esperado, especialmente, na quarta fase do terceiro tratamento, com concentração de nutrientes na solução nutritiva inferiores em comparação com as fases anteriores. Como neste estudo, o sistema de irrigação com microtubos foi dimensionado para trabalhar sob regime de escoamento laminar, acredita-se que estes resultados estiveram sob influência da temperatura da água (Figura 5). Parchomchuk (1976) afirma que mudanças na viscosidade cinemática da água provocadas pela variação da temperatura, podem causar variações na vazão dos emissores maiores que 10%, quando funcionam sob regime de escoamento laminar.

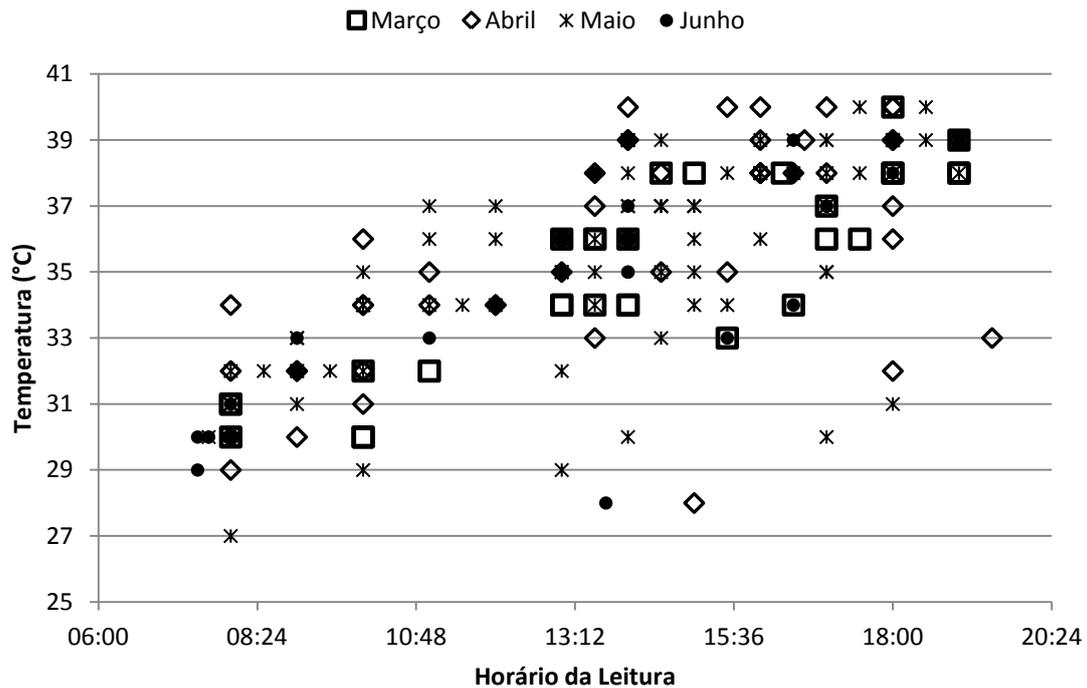


Figura 5. Valores da temperatura da água monitorada ao longo do experimento

Para representar numericamente a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação existem alguns coeficientes de uniformidade que são comumente citados na literatura específica (MERRIAN & KELLER, 1978; DENÍCULI et al., 1980; CABELLO, 1996; LOPEZ et al., 1992; FRIZZONE & DOURADO NETO, 2003; BERNARDO et al., 2005) e amplamente utilizados em avaliações de campo (BONOMO, 1999; SOUZA, 2000; SOUZA et al., 2001; CHAMON, 2002; CORDEIRO, 2002; SOUZA et al., 2003). O índice de uniformidade frequentemente utilizado para avaliar sistemas de irrigação localizada instalados é o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) que leva em consideração os 25% do total das observações com menores vazões em relação à vazão média aplicada. Entretanto este trabalho baseou-se na metodologia proposta por Merriam & Keller (1978) que apresentam um critério geral para interpretação dos valores de CUD: maior que 90% classificando como excelente; entre 80% e 90%, bom; 70% e 80%, regular; e menor que 70%, como ruim. Verificou-se que na primeira leitura do tratamento controle, com emissores novos e sem presença de fertilizante na água, o sistema de irrigação obteve uma excelente UD (Tabela 10). Souza (2005) trabalhando com a cultura da alface para cálculo da UD realizou duas avaliações hidráulicas do sistema com a utilização de microtubos, uma antes do plantio e a outra após a colheita da alface. O sistema

apresentou UD de 96,8% na primeira avaliação e 97,0% na segunda, valores considerados excelentes por Merriam & Keller (1978). Pode-se acrescentar que a elevada uniformidade também se deve ao pequeno comprimento da linha lateral.

Já na segunda leitura ainda no tratamento controle os resultados tiveram comportamento diferente em relação a primeira leitura, extraído-se os seguintes valores de UD para a linha lateral com microtubos de 0,6 mm: 69,95%; 0,7 mm de 63,03%; 0,8 mm de 82,36% e 1,0 mm de 75,95%. Conforme a classificação de Merriam & Keller (1978) os microtubos de diâmetros 0,6 e 0,7 mm foram classificados como ruim e o microtubo com 0,8 mm de diâmetro, como bom, enquanto que para o microtubo de 1,0 mm como regular. Este comportamento pode ser justificado por alguns fatores relevantes observados durante a condução do experimento. Um deles foi a presença de ferro na água de irrigação, observada visualmente (Figura 6) durante o ensaio. Vale ressaltar que, a análise de composição química da água utilizada, feita pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), não diagnosticou restrições para o uso da água em irrigação (Tabela 8). Provavelmente estes resultados de UD estão relacionados à precipitação do ferro na água podendo ter interferido nos baixos valores de uniformidade, causando o entupimento de emissores na segunda leitura do tratamento controle.



Figura 6. Indícios visuais da precipitação do ferro na água de irrigação

Hernandez et al. (2001) relatam que após a oxidação de Fe^{2+} para o Fe^{3+} , o ferro fica retido nas paredes do tubo, ocasionando o aumento nas perdas de cargas e comprometendo o sistema de irrigação. Esteves (1998) comenta que a presença desse elemento nos corpos d'água e sua interação com bactérias filamentosas dos gêneros *Gallionella* e *Leptothrix*, que oxidam o Fe^{2+} transformando-o em Fe^{3+} , podem precipitar e, o mesmo processo é possível de ocorrer nas tubulações do sistema de irrigação. Mélo (2007) afirma ainda que, o entupimento de origem química em emissores se relaciona principalmente à passagem de determinados elementos químicos da forma natural, em que se encontram solúveis na água, para um novo estado de oxidação/redução, de menor solubilidade, com formação de precipitados. Os processos de oxidação/redução envolvem a presença de bactérias, as quais podem, ou não, ser específicas para um determinado elemento.

Ferro, enxofre e manganês são os principais elementos químicos incluídos nesse processo, não sendo válido para cálcio e magnésio. Já Nakayama & Bucks (1986) afirmam que valores abaixo de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro apresentam baixo potencial de obstrução ao sistema de irrigação. Hernandez & Petinari (1998) relatam que o uso de água para irrigação com teores de ferro acima de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ já merece atenção especial por parte dos projetistas, pois pode obstruir tubulações em pouco tempo e, em grau extremo, até inutilizar o sistema de irrigação. Portanto, de acordo com os parâmetros relatados pelos autores, anteriormente mencionados, a uniformidade de distribuição pode ter sido influenciada pela precipitação do ferro, o que ocasionou o baixo desempenho hidráulico dos emissores avaliados.

A partir do momento que foram adicionados fertilizantes na água de irrigação, nas quatro fases nos tratamentos dois e três, a uniformidade de distribuição (UD), ao longo da linha lateral, dos emissores com diâmetro de 0,6 mm foi classificada como ruim a regular, segundo Merriam & Keller (1978). Possivelmente este baixo desempenho pode ter ocorrido devido a presença de fertilizantes, o que torna a água mais alcalina levando a precipitações diretas de substâncias químicas. Além disso, este comportamento pode estar relacionado à ação do elemento Fe^{2+} presente na água utilizada nos eventos de irrigação discutidos acima, ou ainda, pelo tempo de uso dos emissores (total de 777 horas). Souza (2005) encontrou valores de 97% de uniformidade de distribuição com a utilização de microtubos, entretanto seu trabalho foi realizado com água de boa qualidade, similarmente aos valores encontrados neste trabalho com os emissores novos.

Por outro lado, Airoidi (2007) relata que após 500 horas de funcionamento, todos os tratamentos observados apresentaram quedas substanciais de uniformidade de distribuição, especialmente para as parcelas irrigadas com água residuária de esgoto doméstico tratado, corroborando este ensaio no qual foi conduzido sob fertirrigação. Dasberg & Bresler (1985) citam que, com o uso de emissores com pequenos diâmetros, sempre oferece o risco de entupimento, comprometendo a eficiência e uniformidade de irrigação.

Para os microtubos de diâmetro 0,7 mm os resultados encontrados no tratamento controle permaneceram na mesma faixa de classificação de uniformidade de distribuição ao longo da linha lateral, sugerida por Merriam & Keller (1978) variando entre excelentes para os emissores novos e ruins para os emissores usados, enquanto que nos segundo e terceiro tratamentos observou-se certo aumento na desuniformidade. Nas duas primeiras fases do tratamento dois, os resultados da UD foram classificados como ruim. Porém, ao longo do experimento na fase três houve uma melhoria no desempenho, sendo classificado, pelos mesmos autores, como bom e, na fase quatro novamente ficou classificado como ruim. Este fato, provavelmente deve-se as doses de fertilizantes recomendadas e suas combinações, que de alguma forma promoveram o desentupimento e o bom desempenho dos emissores na fase três do segundo tratamento.

No terceiro tratamento observou-se desempenho regular dos emissores segundo a classificação de Merriam & Keller (1978) nas duas primeiras fases, e na fase três foram classificados como bons observando uma queda substancial na última fase, quando classificada como ruim. Algumas causas para a diminuição da uniformidade de distribuição da água podem ser sugeridas com base na literatura. De acordo com Medeiros et al. (2003) quando o sistema de irrigação está parado, há uma tendência de aumento do pH da água, o que diminui a solubilidade dos carbonatos e facilita a precipitação dos mesmos. A precipitação química, a formação de filmes biológicos e depósitos de partículas inorgânicas no interior das canalizações e gotejadores são riscos presentes (BASTOS, 1999). Tajrishy et al. (1994) ressaltam o problema quando afirmam que o entupimento de uma pequena percentagem dos emissores pode afetar severamente a uniformidade de aplicação da água. No trabalho realizado por Nakayama & Bucks (1981) foi verificado que de 1 a 5% dos emissores entupiram quando se utilizou de dois a oito emissores por planta, resultando em desuniformidade de distribuição de água. Smajstrla (1995) aponta que os sistemas de microirrigação, como o gotejamento, normalmente requerem um maior nível de atenção em relação aos

demais sistemas, incluindo frequentes inspeções e uso de medidores de vazão e pressão para verificar se o sistema está funcionando como definido no projeto.

Nas condições deste estudo o sistema diariamente ficava sob seis horas de repouso, isso explicaria a diminuição da vazão na linha 0,7 mm na primeira e segunda fase. Neste sentido, Mélo (2007) cita que as variações de vazão observadas devem-se a instabilidade dos gotejadores, em função do uso. Estudos feitos por Parchomchuk (1976) demonstram que a temperatura causa uma maior influência na vazão de emissores com passagem espiral e microtubos que podem chegar a variações de 53% no intervalo de 20° a 60°C. O mesmo autor aconselha utilizar o sistema de irrigação a noite.

O valor da UD avaliada ao final da fase três dos tratamentos dois e três foi classificado como bom. Supostamente este bom desempenho deve-se as combinações dos fertilizantes utilizadas na solução podendo ter causado a desobstrução dos emissores na linha lateral, especialmente devido a maior concentração de ácido fosfórico utilizado nessa fase.

De acordo com Nakayama & Bucks (1986) os ácidos podem ser usados para baixar o pH da água e para reduzir o potencial de precipitação química. Ácido Clorídrico (HCl), Ácido Sulfúrico (H₂SO₄), Ácido Nítrico (HNO₃) e Ácido Fosfórico (H₃PO₄) são os mais utilizados para este propósito. Os ácidos são utilizados tanto como medida preventiva quanto para recuperar emissores obstruídos. Em trabalho sobre recuperação de gotejadores entupidos, Vieira et al. (2004) constataram que a aplicação de ácido fosfórico na água para controle do pH, associado com a utilização de hipoclorito de sódio com 12% de cloro livre, resultou em melhoria na uniformidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação, por meio do aumento nos valores do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). Também vale ressaltar que, o pequeno diâmetro do orifício de gotejadores e a pequena velocidade da água (< 0,5 m s⁻¹) na passagem interna dos emissores, favorecem o entupimento pelo crescimento biológico (TAJRISHY et al., 1994; RAVINA et al., 1992). Neste sentido, os diâmetros reduzidos dos emissores estão sujeitos ao entupimento por partículas sólidas em suspensão na água, tendo sua eficiência de distribuição de água às plantas reduzida no decorrer de sua utilização. Ravina et al. (1992), Resende (1999) e Cabello (1996) verificaram que todos os gotejadores apresentam vulnerabilidade ao entupimento, por apresentarem estreitas passagens e pequenas aberturas (0,5 a 1,0 mm).

O comportamento do microtubo com diâmetro de 0,8 mm, no tratamento controle, novamente mostrou-se satisfatório para os emissores novos com classificação excelente, tendo uma queda para bom na leitura com os emissores usados. Já no segundo e terceiro tratamento observou-se uma similaridade entre os valores nas três primeiras fases, com classificação de Merriam & Keller (1978) entre boa a regular com exceção da fase quatro do tratamento três onde o valor de UD obtido foi classificado, pelos mesmos autores, como excelente. Tal particularidade deve-se ao maior diâmetro efetivo dos microtubos em comparação com os anteriormente comentados, a ação do ácido fosfórico nas tubulações das linhas laterais e o longo percurso da água nos emissores.

Analisando os microtubos de 1,0 mm de diâmetro e as assertivas acima discutidas, os dados de uniformidade de distribuição no tratamento controle mantiveram-se no mesmo patamar de classificação considerada excelente, sugerida por Merriam & Keller (1978) nos emissores novos e, nos usados como regular. Comportamento semelhante ao microtubo 0,8 mm foi verificado que, no segundo e terceiro tratamento apresentou grande similaridade entre as fases e na classificação de Merriam & Keller (1978) como bom a regular. Entretanto, no segundo tratamento na primeira fase ocorreu o pior desempenho em relação aos demais sendo classificado como ruim.

O bom desempenho do sistema para os diâmetros de 0,8 e 1,0 mm supostamente deve-se ao maior diâmetro interno do microtubo promovendo a passagem livre da água aliado à ação do ácido fosfórico na desobstrução das tubulações, bem como outros elementos químicos presentes na água de irrigação condizentes ao bom funcionamento das linhas. Cabello (1996) sugere que o diâmetro do orifício de passagem de água dos emissores compromete significativamente uniformidade de aplicação de vazão ao longo da linha lateral. Para tanto, o risco ao entupimento pode ser classificado em função desta característica física do emissor (Tabela 13).

Tabela 13. Critérios de classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento

Diâmetro mínimo (mm)	Sensibilidade à obstrução
$\leq 0,7$	Alta
0,7 a 1,5	Média
$\geq 1,5$	Baixa

Fonte: Cabello (1996)

Substancial aumento no grau de entupimento foi identificado nos tratamentos dois e três nas quatro fases e nos quatro diâmetros estudados. Este fato pode está associado à adição dos fertilizantes interagindo com os elementos já presentes na água utilizada para irrigação. Ayers & Westcot (1991) afirmam que alguns fertilizantes injetados ao sistema de irrigação podem provocar precipitações, como também, o tempo de uso. Puig-Bargués et al. (2005) verificaram um rápido processo de entupimento depois de decorridas 485 horas de ensaio com gotejadores do tipo labirinto, para parcelas submetidas à irrigação com efluente de tratamento secundário filtrados por filtros de tela e disco devido ao tempo de operação dos emissores ou mesmo este comportamento pode ser relacionado à influência da temperatura da água sobre a vazão dos emissores.

Segundo Ravina et al. (1992) a determinação da causa exata do entupimento de emissores pode ser complexa, uma vez que vários fatores na água podem interagir entre si, agravando o problema. Apesar do claro processo de entupimento observado ao longo do tempo de execução dos ensaios, não foram detectados casos de completa obstrução dos emissores.

No entanto, verificou-se que as figuras 10 e 11 apresentaram grau de entupimento do emissor em torno de 96,67 e 95,00% no emissor 14 da linha 0,6 mm. Essa obstrução pode está associada à precipitados na parede do tubo e ao reduzido diâmetro interno dos emissores além da lenta velocidade de escoamento. Resultados semelhantes foram obtidos por Puig-Bargués et al. (2005) para gotejadores do tipo labirinto com efluentes de tratamento terciário.

As figuras de 7 a 16 apresentam os resultados obtidos da distribuição das vazões médias de cada emissor ao longo de cada linha lateral e a dispersão de pontos em relação à vazão estabelecida de projeto ($0,6 \text{ L h}^{-1}$).

De acordo com a representação gráfica da distribuição das vazões médias dos emissores novos (Figura 7), pode-se verificar grande uniformidade entre a vazão de projeto e a vazão observada. Esta constatação comprova a precisão na obtenção do diâmetro interno efetivo dos microtubos pelo método hidrodinâmico sugerido por Almeida & Botrel (2010) e, do comprimento do microtubo calculado de acordo com Souza (2005). No entanto, ao final do período estabelecido para o tratamento controle (Figura 8), observou-se um maior desvio das vazões observadas em relação à vazão de projeto. Em geral, as vazões observadas foram menores que a vazão de projeto, o que foi comprovado pelos coeficientes, que expressam o desempenho hidráulico, já comentados. A mesma constatação foi verificada em todas as outras fases e tratamentos, ao longo do período experimental, conforme as Figuras 9 a 16.

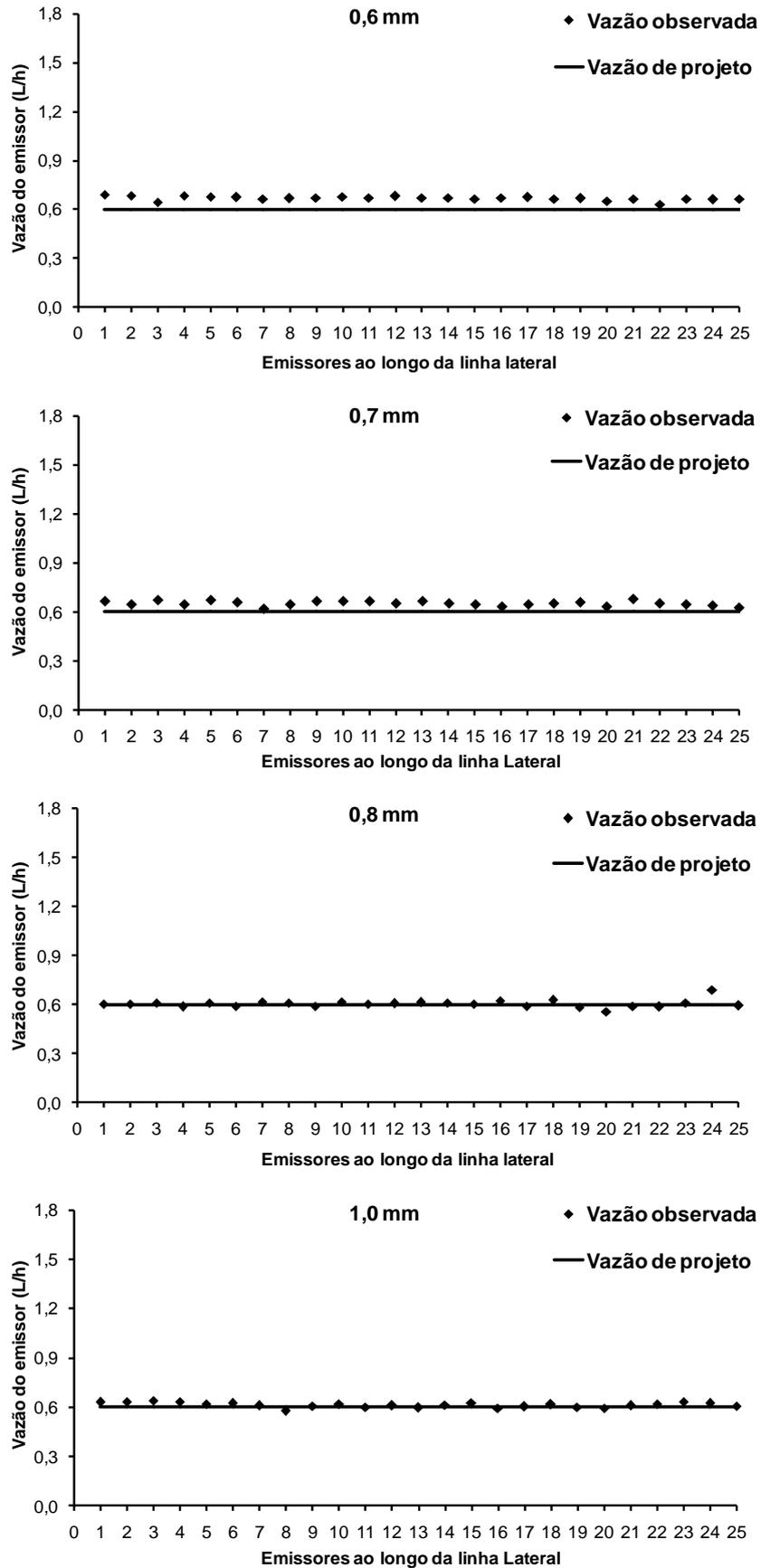


Figura 7. Distribuição da vazão média dos emissores novos

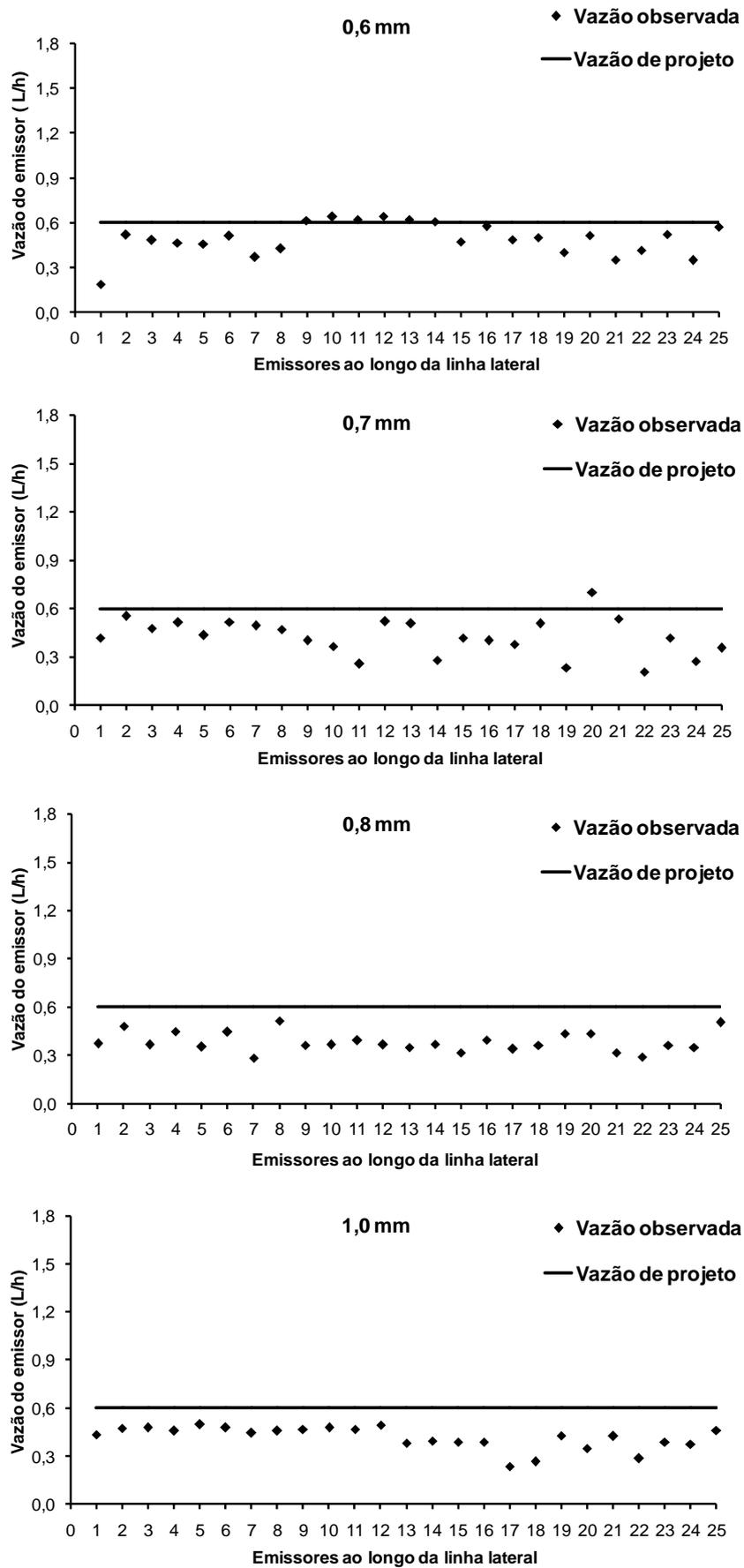


Figura 8. Distribuição da vazão média dos emissores ao final do tratamento controle

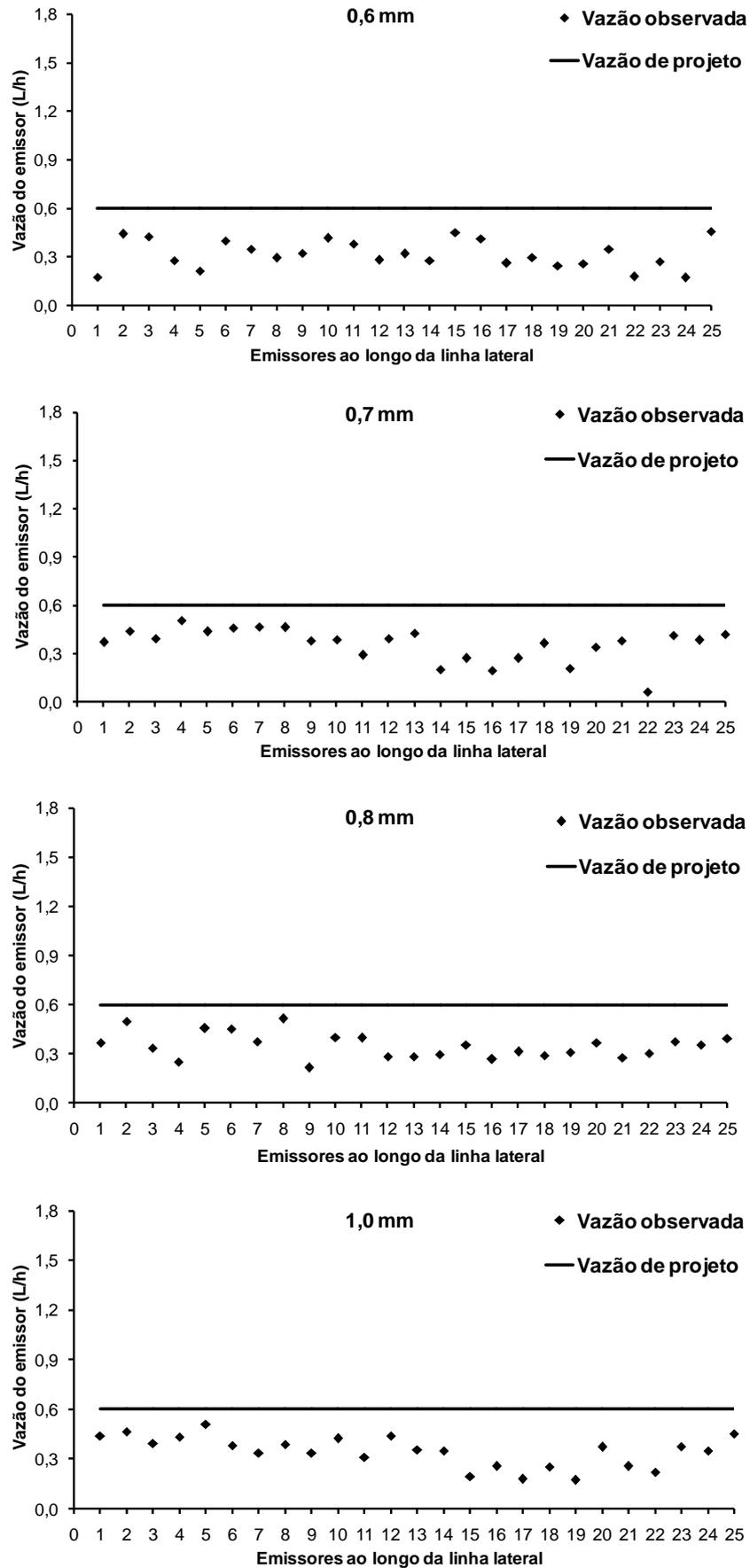


Figura 9. Vazão dos emissores ao final da fase 1 do segundo tratamento

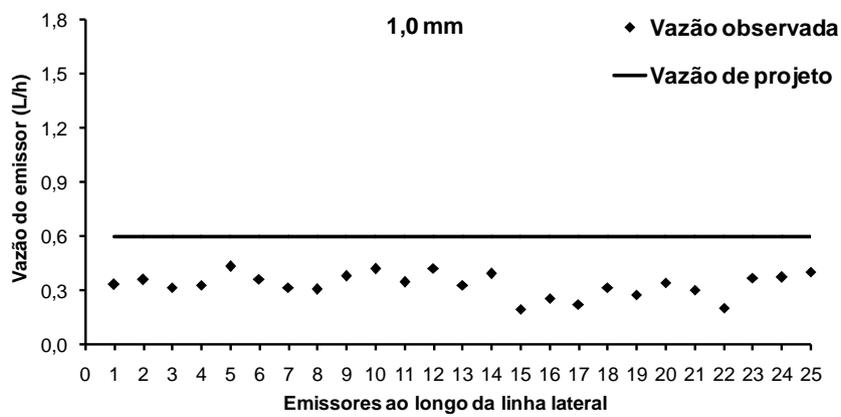
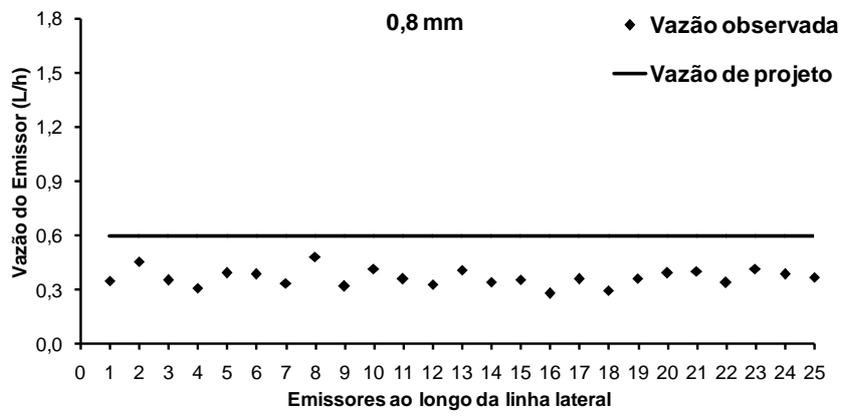
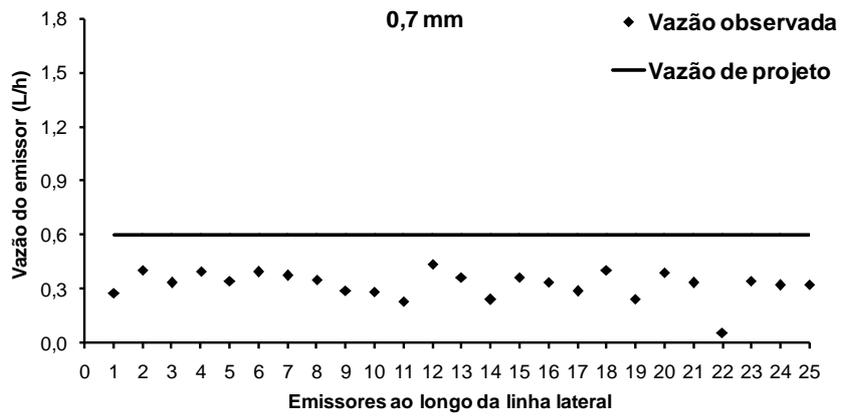
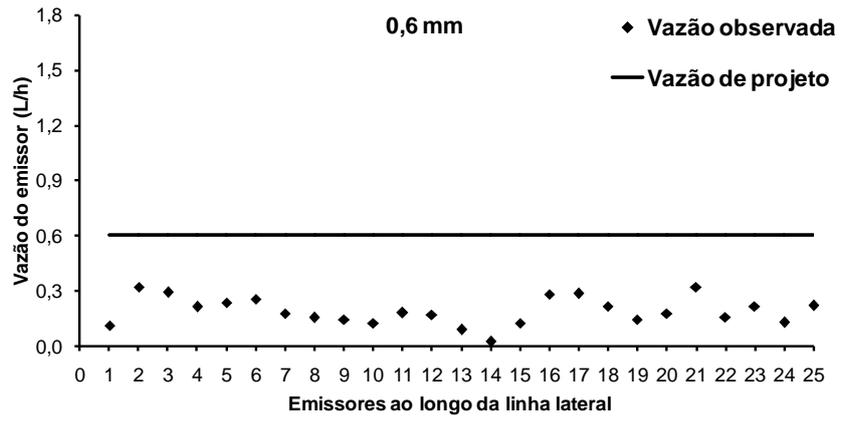


Figura 10. Vazão dos emissores ao final da fase 2 do segundo tratamento

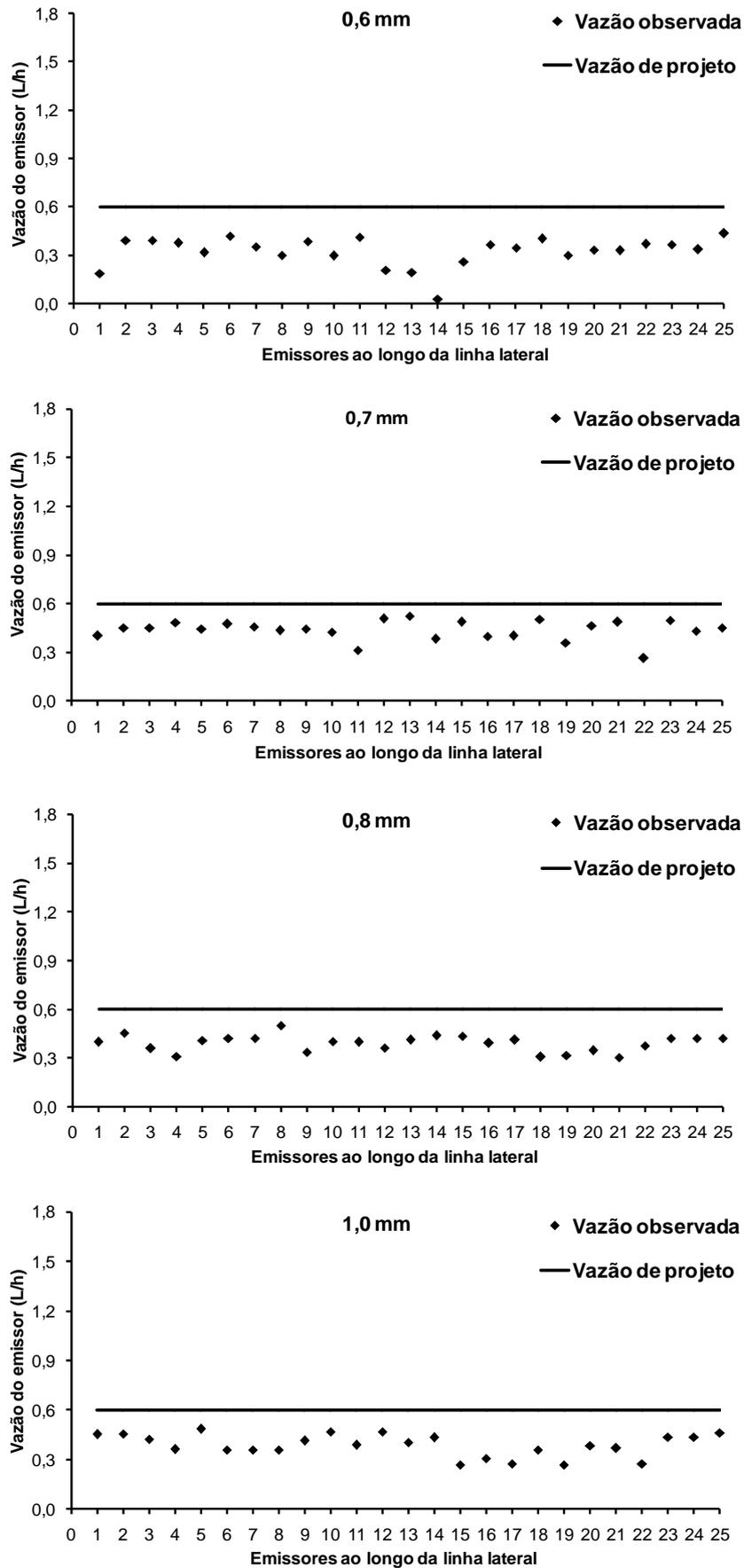


Figura 11. Vazão dos emissores ao final da fase 3 do segundo tratamento

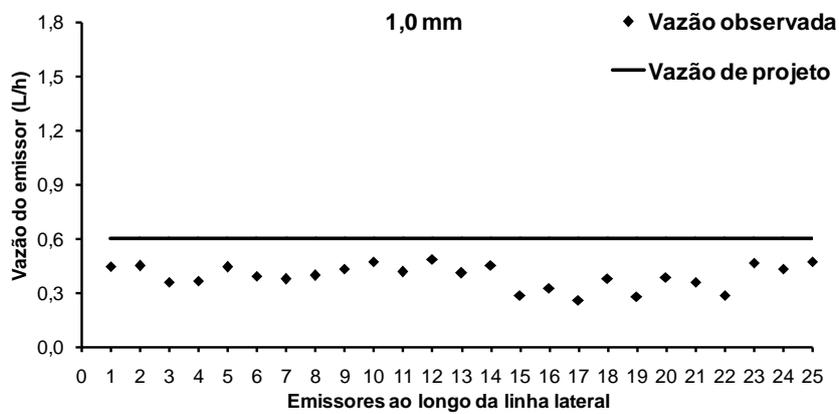
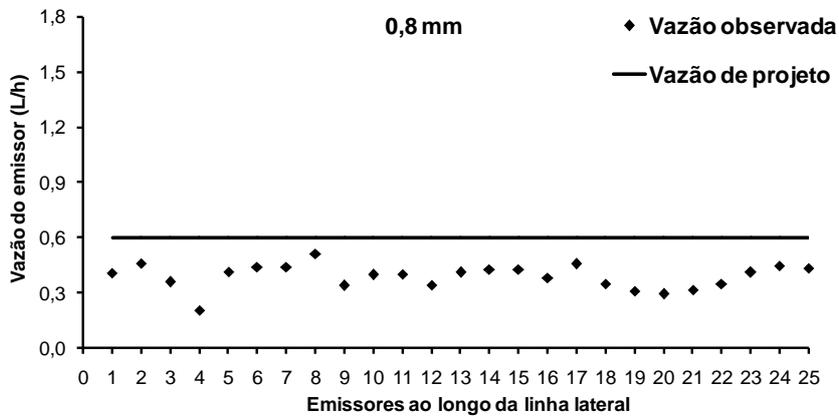
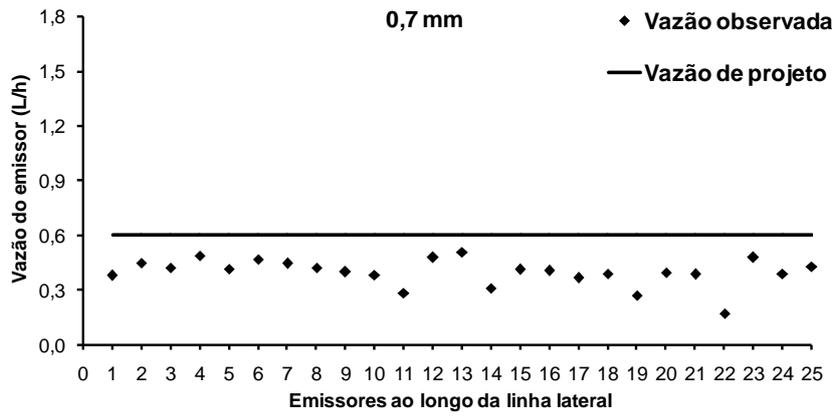
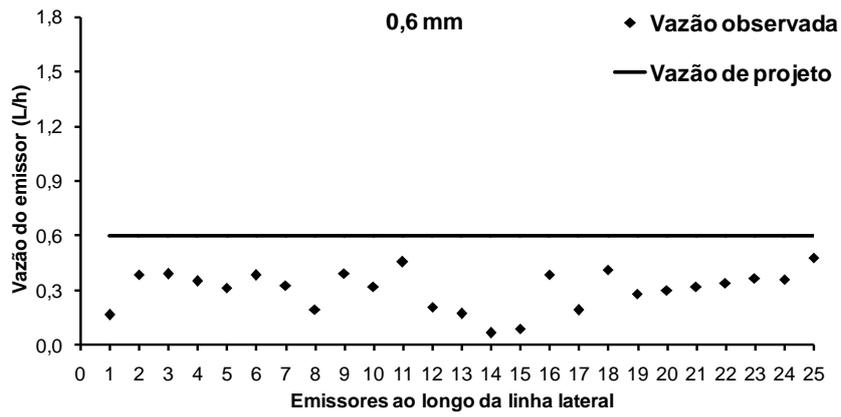


Figura 12. Vazão dos emissores ao final da fase 4 do segundo tratamento

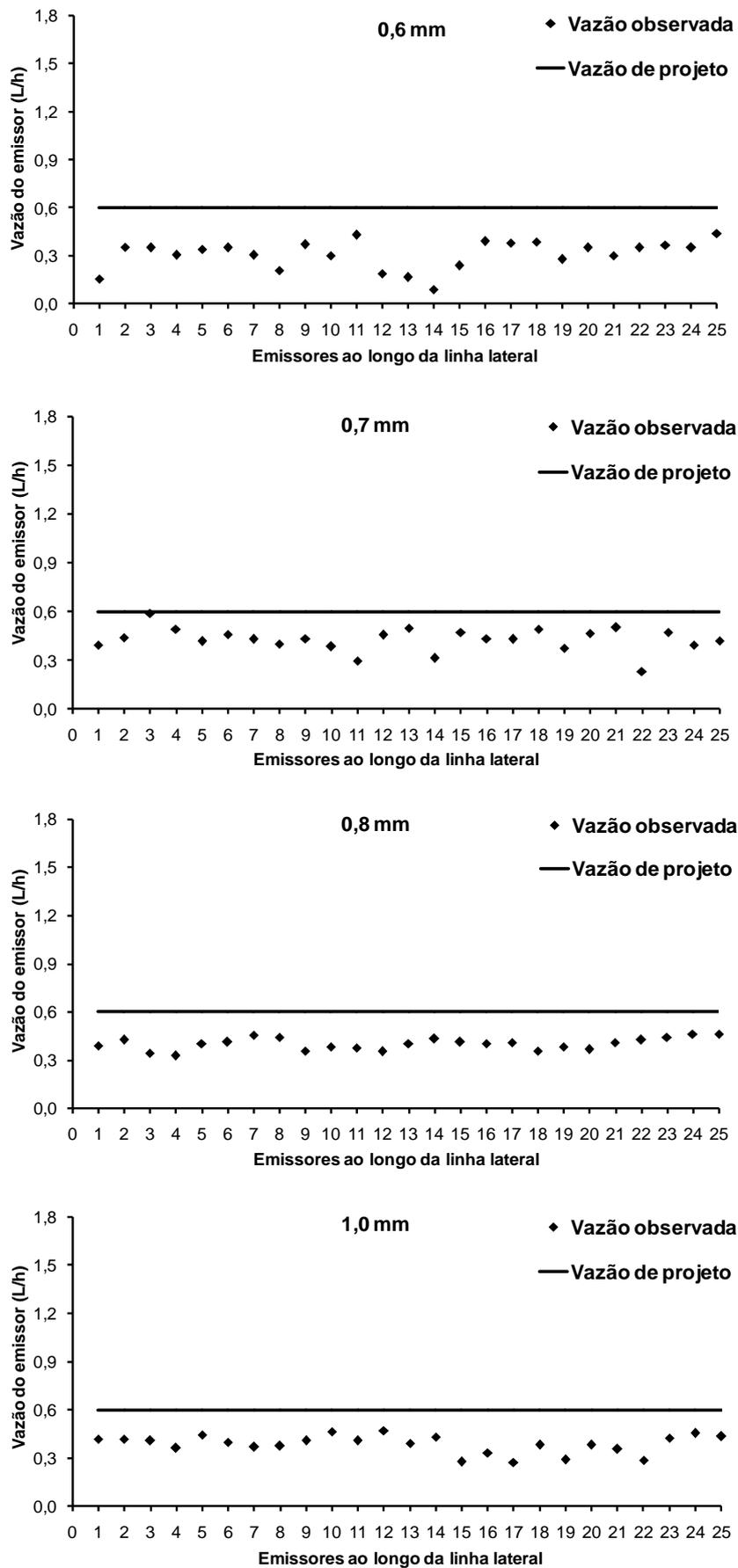


Figura 13. Vazão dos emissores ao final da fase 1 do terceiro tratamento

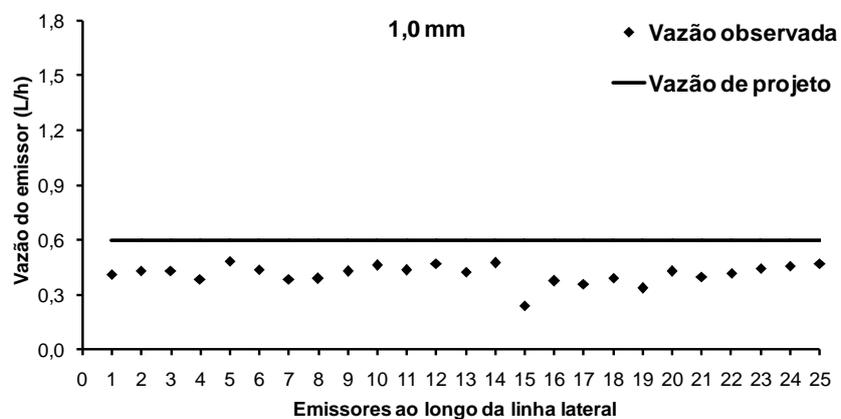
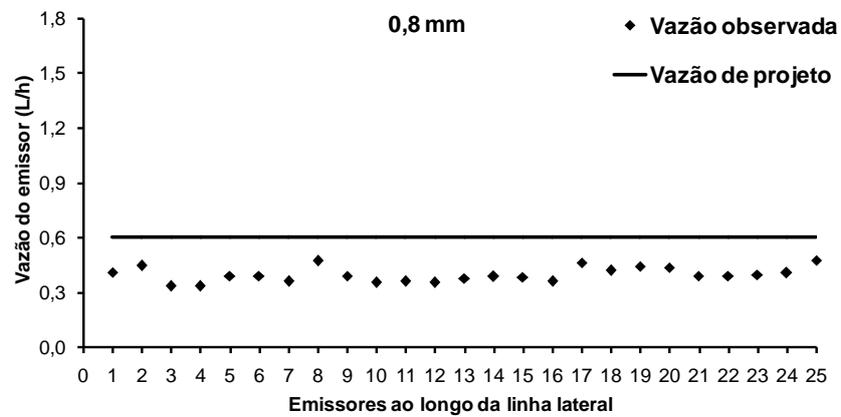
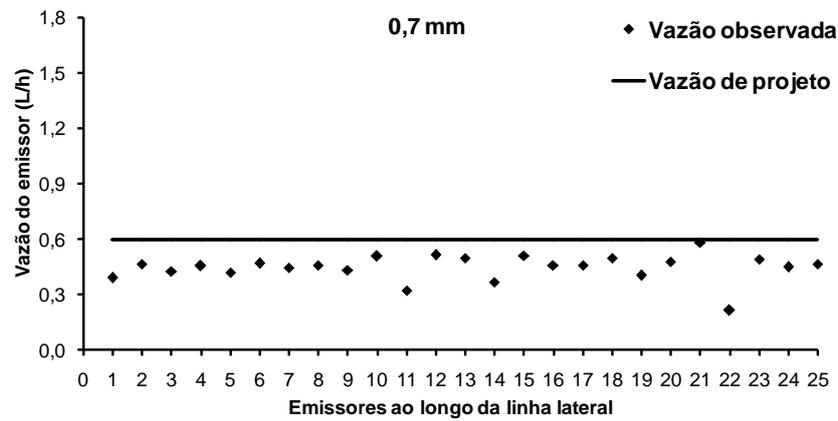
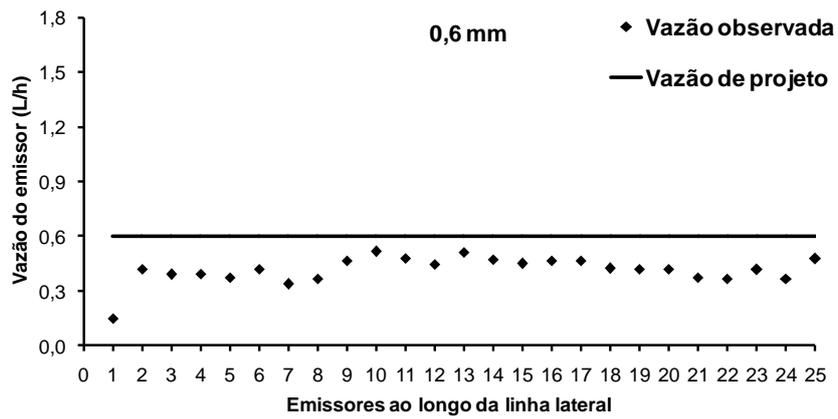


Figura 14. Vazão dos emissores ao final da fase 2 do terceiro tratamento

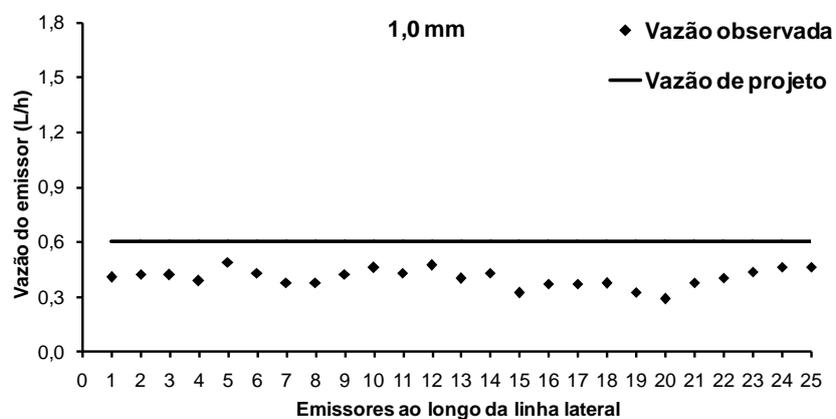
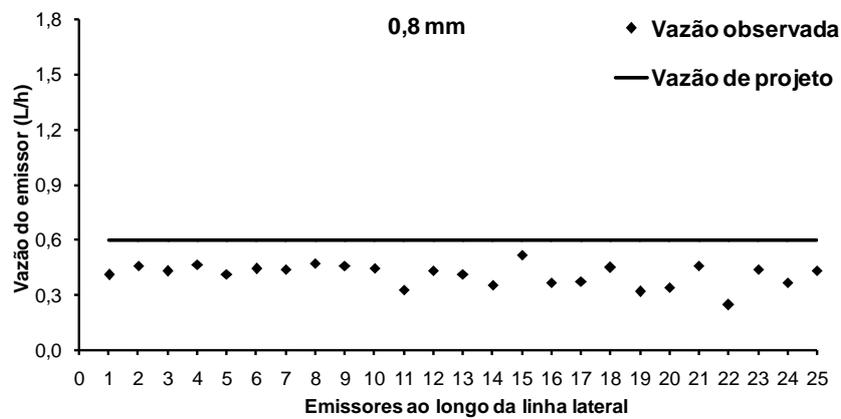
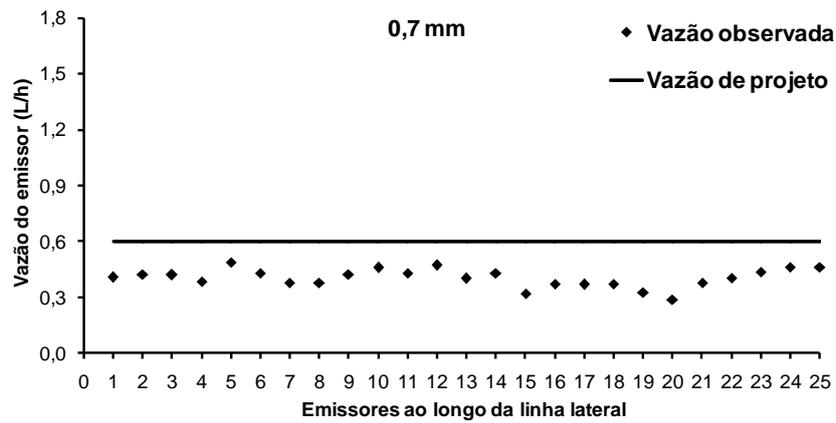
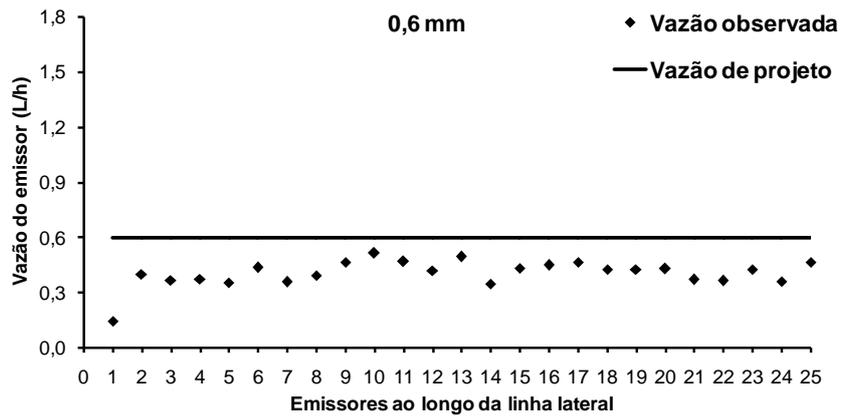


Figura 15. Vazão dos emissores ao final da fase 3 do terceiro tratamento

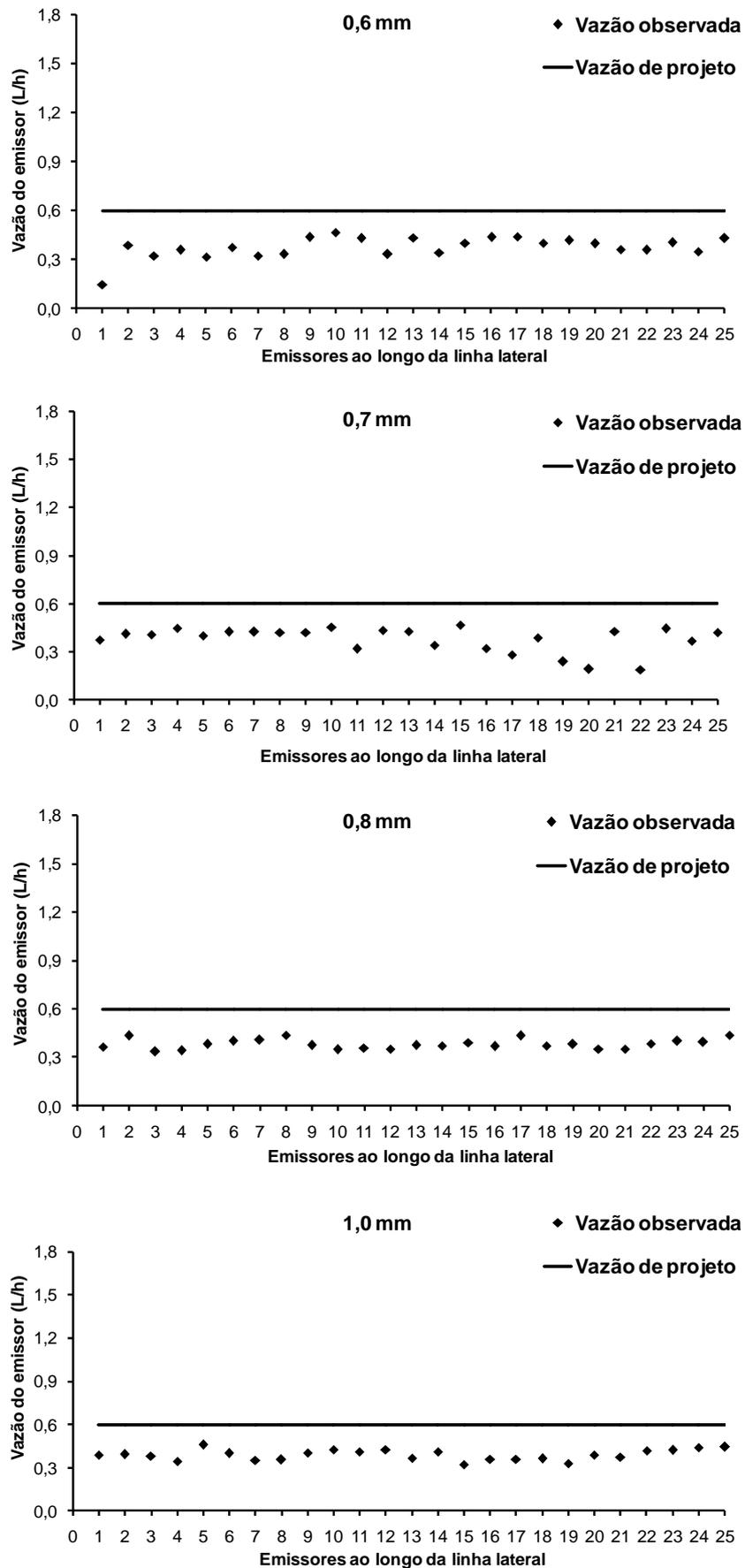


Figura 16. Vazão dos emissores ao final da fase 4 do terceiro tratamento

5. CONCLUSÕES

Considerando as condições nas quais o experimento foi conduzido, os resultados obtidos permitem concluir que:

O uso dos fertilizantes químicos em programas de fertirrigação com a utilização de microtubos gotejadores exige criterioso estudo de compatibilidade e reações químicas resultantes da interação entre os mesmos;

Os emissores utilizados apresentaram baixo desempenho hidráulico sob fertirrigação, representado pelo CVq e GE, principalmente devido ao reduzido diâmetro interno dos emissores;

Entre os quatros diâmetros internos de microtubos estudados os emissores de diâmetros entre 0,8 e 1,0 apresentaram um bom desempenho hidráulico sob fertirrigação, representados pelos coeficientes de CVq e GE.

O ácido fosfórico mostrou-se eficiente na desobstrução dos gotejadores tipo microtubos;

O coeficiente de variação de fabricação refletiu a elevada qualidade e uniformidade na produção dos microtubos;

A uniformidade de distribuição de vazão ao longo da linha lateral, em tempos gerais, foi regular;

Apesar do claro processo de entupimento observado ao longo do tempo de execução dos ensaios, não foram detectados casos de completa obstrução dos emissores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGRIANUAL. 2009. **Anuário da Agricultura Brasileira.** São Paulo: FNP Consultoria e Agro Informativos, p.496, 2009.

AIROLDI, R. P. S., **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento em irrigação com água residuária.** 2007, 139p. (Tese de doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - São Paulo, 2007.

ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; LIMA, V. L. A.; MENEZES, D.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; SILVA JUNIOR, J. G. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.671-679, 2009.

ALMEIDA, C. D. G. C, BOTREL, T. A. Determinação do diâmetro de microtubos em irrigação localizada. **Agrárias**, v.5, n.3, p.413-417, 2010.

ALMEIDA, C. D. G. C. **Microaspersor com microtubos: um novo conceito na irrigação localizada.** 2008, 104p. (Tese de doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - São Paulo, 2008.

ARAÚJO, J. M. M. **Eficiência do hidrosfriamento na qualidade pós-colheita do melão cantaloupe.** 2006, 58p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró, 2006.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **EP 458:** Field evaluation of microirrigation systems. St. Joseph, Estados Unidos, 7p, 1998.

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

AZEVEDO NETO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 4. Ed. São Paulo: USP, p.669, 2005.

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. **Influência de elementos do clima e da pressão de operação do aspersor no desperdício de água, em um sistema de irrigação por alta pressão**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal v.18, n.4, p.53-62, 1999.

BASTOS, R. K. X. Fertirrigação com águas residuárias. In : FOLEGATTI, M. V. (Coord.) **Fertirrigação - citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, p.279-291, 1999.

BELFORT, C. C.; HAAG, H. P.; MATSUMOTO, T. L.; CARMELLO, Q. A. C.; SANTOS, J. W. C **Acumulação de matéria seca e recrutamento de macronutrientes pelo melão** (*cucumis melo* L. Cv. Valenciano Amarelo CAC) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo em presidente Vencelau, S. P. In: HAAG, H. P.; MINAMI, K. **Nutrição mineral em hortaliças**. 2. Ed Campinas: fundação Cargill, p.293-349, 1988

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, p.596, 2005.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999, 224p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

BRALTS, V. F. Operational principles. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production: development in agricultural engineering**. Amsterdam : Elsevier, p.230-239, 1986.

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

CABELLO, P. F. **Riegos Localizados de Alta Frecuencia**. 3. ed. Madrid. Ed. Mundi Prensa, p.513, 1996.

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

CHAMON, O. **Estudo comparativo da demanda de água e do manejo em sistemas de irrigação em lavouras de café**. 2002, 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. **Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil**. Brasília, 2006. Disponível em <http://www.genderandwater.org> Acesso em 10 out 2009.

CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos**. **Item**, Brasília, n.54, p.46-55, 2002.

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

DANTAS, D. C., **Função de produção do meloeiro em resposta à fertirrigação nitrogenada e potássica na microrregião de Mossoró**. 2010, 79p. Dissertação de mestrado (Mestrado em irrigação e drenagem), Universidade Federal Rural do Semi-Árido. UFERSA Mossoró - RN, 2010.

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Israel. IIC. (9). p.95, 1985.

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**, v.27, n.50, p.155-162, 1980.

EMBRAPA. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Embrapa mandioca e fruticultura tropical. 2 ed. rev e amp. Cruz das Almas: p.180, 2009.

EMBRAPA. **Melão Produção Aspectos Técnicos**. Embrapa Informações Tecnológicas, p.144, 2003. (Frutas do Brasil, 33).

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/ FINEP, p.575, 1998.

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de M. (eds.). **Irrigação** (Série Engenharia Agrícola). Piracicaba - SP: FUNEP, v.2, p.573-651, 2003.

GHAEMI, A.; CHIENG, S. Emitter clogging and hydraulics in micro-irrigation lines. In: Annual International Meeting, 1999, ASAE/CSAE-SCGR, Toronto, p. 8.

HEINZE, B. C. L. B. **A importância da agricultura irrigada para o desenvolvimento da região nordeste do Brasil**. São Paulo: FGV, Ecobusiness School, p.59, 2002.

HERNANDEZ, F. B. T. **Manejo da irrigação**. 2004. Disponível em: <<http://www.irrigaterra.com.br/manejo.php>>. Acesso em: 10 julho. 2010.

HERNANDEZ, F. B. T.; SILVA, C. R.; SASSAKI, N.; BRAGA, R. S. **Qualidade de água em um sistema irrigado no noroeste paulista**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXX, Foz de Iguaçu, Anais...2001 (CD-ROM).

HERNANDEZ, F. B. T; PETINARI, R. A. **Qualidade de água para irrigação localizada**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXVII, Poços de Caldas. Anais... 1998 (CD-ROM).

HOWELL, T. Drops of life in history of irrigation. **Irrigation Journal** Berlin, v.50, p. 1-8, 2000.

HOWELL, T.A.; HILLER, E.A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. In: International Drip Irrigation Congress, 2, Proceedings... Riverside, p.299-304, 1974.

ISHAQ, A. M.; IBRAHIM, M. A. The design of trickle irrigation systems with microtubes as emitters. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MICROIRRIGATION, 5., Orlando, 1995. **Anais**. Orlando: ASAE, p.708-716, 1995.

KARMELI, D. Classification and flow regime analysis of drippers. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v.22, n.2, p.165-173, 1977.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, p.625, 1990.

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

KHATRI, K. C.; WU, I.; GITLIN, H. M.; PHILLIPS, A. Hydraulics of microtube emitters. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.105, n.1R2, p.167-173, 1979.

LEITE, K. N.; MONTEIRO, R. N. F.; SANTOS, F. R. M.; VASCONCELOS, R. S.; MIRANDA, E. C.; RODRIGUES, D. N. B. **Coefficiente de uniformidade de distribuição de diferentes sistemas artesanais de irrigação localizada**. In. Winotec, 02. Fortaleza, 2008.

LONG, M. Irrigação gota a gota. **Cultivar Máquinas**, n.2, 2001, Disponível em <<http://www.grupocultivar.com.br/artigos/artigo.asp?id=180>>, Acesso em: 20/02/2010.

LOPEZ, R. J.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. Riego localizado. 2. Ed. Madri: Mundi - Prensa, p.405, 1997.

MACKAY, H. **Low cost micro irrigation technologies for the poor**. Affordable MicroIrrigation Technology Final Report. Department for Infrastructure and Urban Development, 2003. Disponível em: <<http://www.itcltd.com/docs/amit%20final%20report.pdf>>. Acesso em: 05/12/2009.

MARQUELLI, W. A.; PINTO, J. M.; SILVA, H. R. da; MEDEIROS, J. F. Fertirrigação. In: SILVA, H. R. da; COSTA, N. D. (Ed.). **Melão: produção, aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA, cap.10, p.69-85, 2003. (Frutas do Brasil, 33).

MATOS, J. A.; NETO, J. D.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Avaliação da distribuição de água de um microaspersor autocompensante. **Irriga**, Botucatu, v.4, n.3, p.168-174, 1999.

MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M. J.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi.. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.469-472, 2003.

MÉLO, R. F., **Dinâmica e Controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e fitoplâncton**. 2007, 189p. Tese de Doutorado (doutorado em Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz ESALQ, Piracicaba SP, 2007.

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

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transactions of ASAE**, v.1, p.77-80, 1981.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production** : design, operation and management. Amsterdam: Elsevier Science, p.383, 1986.

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

OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo, 1984.

PAES, L. A. D. **Características hidráulicas dos microaspersores Dantas MA120 e Irtec e das linhas laterais em sistemas de irrigação por microaspersão**. 1985, 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

PAPADOPOULOS, I. **Fertirrigação: Situação atual e perspectivas para o futuro**. In: Folegatti, M. V. (Coord.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba Agropecuária, p.460, 1999.

PARCHOMCHUK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.19, n.4, p.690-692, 1976.

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

PUIG-BARGUÉS J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA F.; BARRAGÁN J. Development of equations for calculating the head loss in effluent filtration in microirrigation systems using dimensional analysis. **Biosystems Engineering**, London, v.92, n.3, p.383-390, 2005.

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.

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

RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; COLETTI, C. Chemical treatment to unclogg dripper irrigation systems due to biological problems. **Scientia Agricola** Piracicaba, v.65, n.1, 2008. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162008000100001](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162008000100001&lng=en&nrm=iso)>. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000100001>.

ROMAN, B. Tackling emitter clogging problems. **Irrigation Journal**, Berlin, v.49, n.4, p.8, 1999.

SALOMÃO, C. L. **Determinação do tempo de vácuo, momento de coleta e posicionamento de extratores de cápsulas porosas em solo arenoso**. 2009, 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2009.

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

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, ano.4, n.8, 2005. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/agro/artigos/artigo08.pdf>>. Acesso em: 02 abril 2011.

SILVA, H. R. da.; COSTA, N. D.; CARRIJO, O. A. Exigências de clima e solo e época de plantio. In: SILVA, H. R. da.; COSTA, N. D. (eds) **Melão: produção, aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA, Cap.5, p.23-28, 2003. (Frutas do Brasil, 33).

SILVA, P. J. C.; BRITO R. A. L.; AZEVEDO, H. M. **Caracterização hidráulica de linhas laterais em sistemas localizados, utilizando microtubos de tamanho variado como emissores**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABID, v.1, p.473-505, 1988.

SMAJSTRLA, A. G. Causes and prevention of emitter clogging in microirrigation systems. **Irrigation Journal**. p.14-17, 1995.

SOARES, A. A. **Características hidráulicas de microtubos Cipla e linhas laterais para irrigação por gotejamento**. 1981, 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1981.

SOARES, A. A.; BERNARDO, S.; LOUREIRO, B. T.; CONDÉ, A. R. Características hidráulicas de microtubos “cipla” e de linhas laterais para irrigação por gotejamento. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, v.10, n.1, p.5-9, 1982.

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

SOUZA, L. O. C. de. **Análise técnica de sistemas de irrigação por gotejamento utilizados na cafeicultura irrigada**. 2000, 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2000.

SOUZA, L. O. C. de; MANTOVANI, E. C.; CORDEIRO, E. de A.; MUDRIK, A. S.; SIMÃO, F. R. Uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento utilizado em cafeicultura irrigada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2. 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, p.679-685, 2001.

SOUZA, L. O. C. de; MANTOVANI, E. C.; SOUSA, M. B. A. de; BUFFON, V. B.; BONOMO, R.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M. Uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento utilizados na cafeicultura irrigada. In: MANTOVANI, E. C., SOARES, A. R. (Ed.) **Irrigação do cafeeiro**: informações técnicas e coletâneas de trabalhos (Boletim técnico; 8), Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais: UFV; DEA, p.8-86, 2003.

SOUZA, R. O. R. M.; PÉREZ, G. F. E.; BOTREL T. A. Irrigação localizada por gravidade com microtubos. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.2, p.266-279, 2006.

SOUZA, R.O.R.M., **Modelagem, desenvolvimento de software para dimensionamento, e avaliação de sistema de irrigação por gotejamento com**

microtubos. 2005, 100p. Tese de doutorado (Doutorado em irrigação e drenagem), Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz ESALQ Piracicaba - SP, 2005.

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

TYLER, K. B.; LORENZ, O. A. Nutrient absorption and growth of four muskmelon varieties. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, Alexandria, v.84, p.364-371, 1964.

VANZELA, L. S.; ANDRADE, M. C. N. **Importância da irrigação para o desenvolvimento econômico regional**. 2002. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/lsvimpirrigacao.htm> Acesso em 03/04/2011.

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

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; FERNÁNDEZ, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: 252 FOLEGATTI, M. V. (coord.), **Fertirrigação: Citrus, flores e hortaliças**. Guaíba: Livraria Editora 253 Agropecuária, p.293-319, 1999.

WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation design based on uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.17, n.1, p.429-432, 1974.