

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO
HIDRÁULICA DE UM SISTEMA DE
GOTEJAMENTO POR GRAVIDADE PARA
PEQUENAS PROPRIEDADES**

JOÃO MARCELO SILVA DO NASCIMENTO

2006

JOÃO MARCELO SILVA DO NASCIMENTO

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DE UM
SISTEMA DE GOTEJAMENTO POR GRAVIDADE PARA
PEQUENAS PROPRIEDADES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. Dr. Luiz Antônio Lima

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

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

Nascimento, João Marcelo Silva do

Desenvolvimento e avaliação hidráulica de um sistema de gotejamento por gravidade para pequenas propriedades / João Marcelo Silva do Nascimento. --
Lavras : UFLA, 2006.

79 p. : il.

Orientador: Luiz Antônio Lima
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Agricultura familiar. 2. Irrigação. 3. Gotejamento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-306.852
-631.587

JOÃO MARCELO SILVA DO NASCIMENTO

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DE UM
SISTEMA DE GOTEJAMENTO POR GRAVIDADE PARA
PEQUENAS PROPRIEDADES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 21 de março de 2006.

Prof. Dr. Adão Wagner Pêgo Evangelista - UFLA

Dr. Camilo de Lelis Teixeira de Andrade - EMBRAPA

Prof. Dr. Luiz Antônio Lima - UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela saúde e perseverança concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro disponibilizado ao longo desta pesquisa.

A Plastro do Brasil, sediada em Uberlândia, pela doação dos materiais para a montagem dos ensaios laboratoriais e de campo.

A Hortiagro Sementes Ltda., através do Sr. Paulo Moretto e Vicente Licursi, da Fazenda Palmital, pela área cedida para a montagem do sistema de irrigação.

Ao professor orientador Luiz Antônio Lima, pelos conselhos prestados.

Ao amigo e professor Denis Cesar Cararo, pela ajuda e incentivo para a realização desta pesquisa.

Aos colegas de pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelo grande incentivo e vivência.

Aos estudantes de graduação Marcus Vinícius, Elvis, Marlon e Bruno, pela valiosa ajuda na condução do experimento.

A todos os funcionários e professores do Departamento de Engenharia, por todos os esclarecimentos prestados.

A todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, tornando possível a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Irrigação localizada	3
2.2 Constituintes do sistema de irrigação por gotejamento	5
2.3 Hidráulica do sistema de irrigação localizada	12
2.4 Critérios de dimensionamento do sistema de irrigação	16
2.5 Uniformidade de aplicação de água	17
2.6 Sistemas de irrigação por gotejamento à baixa pressão	21
2.7 Fertirrigação	26
2.8 Cultura do tomate	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Localização e condução do experimento	29
3.2 Avaliação em laboratório	29
3.3 Avaliação em campo	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 Caracterização dos gotejadores	43
4.2 Avaliação da perda de carga nos conectores	46
4.3 Comprimento máximo da linha lateral	47
4.4 Dimensionamento do ramal do sistema de irrigação	48
4.5 Avaliação da uniformidade no sistema de irrigação em campo	51

4.6 Avaliação da distribuição espacial da fertirrigação	53
5 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	67

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 Classificação dos emissores segundo o expoente (x).....	6
TABELA 2 Coeficiente de variação de fabricação (CVf) dos emissores.....	9
TABELA 3 Risco ao entupimento no uso da água para irrigação	11
TABELA 4 Equações para determinação do fator de atrito (f) segundo o número de Reynolds (Re)	14
TABELA 5 Uniformidade de distribuição (UD) da aplicação de água	19
TABELA 6 Intervalo uniformidade de emissão (UE) recomendado segundo topografia local e número de emissores existentes por planta.	20
TABELA 7 Pressão do emissor (P), vazão média (Qm), desvio padrão dos dados (S) e coeficiente de variação de fabricação (CVf)	45
TABELA 8 Comprimento máximo da lateral ($L_{m\acute{a}x}$), vazão da lateral (Q_{lat}) e perda de carga do tubo gotejador ($H_{f_{tubo}}$)	48
TABELA 9 Índices de uniformidade dos 8 kits de irrigação.....	51
TABELA 10 Condutividade elétrica corrigida (CE_c) da água de irrigação para a solução de uréia, MAP e KNO_3	54
TABELA 11 Condutividade elétrica corrigida CE_c da água de irrigação para a solução de micronutrientes, fósforo e nitrogênio.	55
TABELA 12 Coeficientes de variação (CV), Christiansen (CUC), uniformidade de distribuição (UD) e uniformidade de emissão (UE) para as respectivas amostras.....	58
TABELA 13 Curva de calibração da condutividade elétrica corrigida (CE_c) e diferentes concentrações de produto	59

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 Sistema de irrigação idealizado por Gilead (1996).....	23
FIGURA 2 Kit de irrigação proposto por Keller et al. (2001).....	24
FIGURA 3 Kit de irrigação desenvolvido pelo Instituto IDE.	25
FIGURA 4 Partes constituintes do gotejador labirinto	30
FIGURA 5 Bancada de testes para caracterização dos emissores	31
FIGURA 6 Arranjo do tubo gotejador para testes laboratoriais	33
FIGURA 7 Bancada de ensaios para a quantificação da perda de carga na (a) passagem direta e (b) lateral de fluxo.....	34
FIGURA 8 Detalhe dos reservatórios instalados em campo.....	35
FIGURA 9 Levantamento altimétrico da área experimental.....	36
FIGURA 10 Disposição das linhas laterais instaladas em campo.....	38
FIGURA 11 (a) Detalhe da linha de derivação e (b) conectores	39
FIGURA 12 (a) Condutivímetro e (b) amostras para avaliação	42
FIGURA 13 Curva característica do tubo gotejador Hydrogol® 12/25/1.....	44
FIGURA 14 Variação da vazão, em função da mudança de pressão no tubo gotejador com 60 emissores	45
FIGURA 15 Perda de carga na passagem lateral da água no conector de 12 mm.....	47
FIGURA 16 Kit de irrigação e reservatório instalados em campo	50
FIGURA 17 Dispersão dos dados da solução de MAP, uréia e KNO ₃	56
FIGURA 18 Dispersão dos dados da solução de micronutrientes, fósforo e nitrogênio.	57

RESUMO

NASCIMENTO, João Marcelo Silva do. **Desenvolvimento e avaliação hidráulica de um sistema de gotejamento por gravidade para pequenas propriedades**. 2006. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. *

Com o intuito de racionalizar o uso da água para irrigação em hortaliças e também facilitar o manejo para o pequeno agricultor, buscou-se desenvolver um kit de irrigação para a agricultura familiar. É constituído de tubo gotejadores tipo labirinto, filtro de disco ou tela, conectores de 12 mm e linha de derivação de polietileno de diâmetro interno 20,6 mm. Para o dimensionamento, foi proposta uma uniformidade de aplicação mínima de 90%. A primeira parte do trabalho foi realizada no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, onde foram estudadas as características hidráulicas do tubo gotejador. Os emissores foram submetidos a ensaios para a determinação do coeficiente de variação de fabricação (CVf), equação característica e comprimento máximo das linhas laterais ($L_{máx}$), conforme critérios internacionais. Os ensaios obtiveram, como resultado, um CVf de 2,59% para a pressão de 2,5 mca, $L_{máx}$ de 30 metros e constante da equação característica que determina o regime de fluxo igual a 0,4855. Assim, os emissores são classificados como de excelente CVf e regime de fluxo turbulento. Foram obtidos valores satisfatórios de uniformidade de aplicação de água, por meio de testes de campo, com índice uniformidade de emissão acima de 85,15%. A avaliação da uniformidade da fertirrigação levou em consideração a aplicação de uma solução líquida (principalmente nitrogênio, fósforo e micronutrientes) e uma mistura sólida (MAP, Uréia e KNO_3). Os resultados mostraram um índice de uniformidade de emissão mínimo de 93,96% na aplicação desses fertilizantes.

Palavras-chave: agricultura familiar, irrigação, gotejamento.

* Comitê de Orientação: Luiz Antônio Lima – UFLA (Orientador); Manoel Alves de Faria – UFLA; Denis Cesar Cararo – UFLA.

ABSTRACT

NASCIMENTO, João Marcelo Silva do. **Development and hydraulic evaluation of a gravity feed drip irrigation system for small farms.** 2006. 79 p. Dissertation (Master Program in Agricultural Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.*

Growers who have small subsistence vegetable farms in Brazil have difficulty managing irrigation and using water efficiently. A simple kit for gravity feed drip irrigation was designed for these growers to facilitate their efficient water use and simplify their irrigation management. It is made up of drip tubes labyrinth type, disk or screen filters, 12mm fittings and a polyethylene tubing 20.6mm internal diameter. For design the application uniformity adopted was at least 90%. The first part of this work was conducted at the Hydraulics Laboratory at Engineering Department at Federal University of Lavras, where the hydraulic characteristics of the emitter were evaluated. The emitters were submitted to tests for measuring the manufacturing coefficient of variation (CVf), the characteristic equation and the maximum lateral length (Lmax), accordingly international criteria. The obtained value for CVf was 2.59% on a 30 meters lateral operating under 2.5 mca of pressure, and the exponent for the characteristic equation was 0.5052. Consequently, the emitters were classified as excellent due to the uniformity and the flow regime as turbulent. The evaluation of application uniformity at field presented values larger than 85.15%. The fertigation uniformity was tested with injection of liquid fertilizers (containing Nitrogen, Phosphorus and micronutrients) and also a solid mix later diluted in water with MAP, Ureia and Potassium Nitrate). The results obtained revealed an uniformity of at least 93.96%.

Key-words: smallholders, irrigation, drip irrigation.

*Guidance Committee: Luiz Antônio Lima – UFLA (Major Professor), Manoel Alves de Faria – UFLA; Denis Cesar Cararo – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Para um melhor desenvolvimento das atividades humanas ligadas ao uso racional da água é importante o desenvolvimento de sistemas de irrigação cada vez mais eficientes, evitando-se o desperdício deste precioso recurso, a água.

De todos os métodos de irrigação utilizados, a irrigação localizada vem apresentando um crescimento contínuo. Isso é explicado principalmente pela economia no uso dos recursos hídricos e por proporcionar altos níveis de produtividade.

Visto que o uso incessante de áreas para fins agrícolas esgota a quantidade de nutrientes disponível para as plantas, o método da fertirrigação por gotejamento pode aplicar a quantidade de adubo necessária para o crescimento e proporcionar um ideal crescimento da cultura.

Nos países em desenvolvimento, existe um grande potencial para melhoria desta técnica porque ainda há uma grande dependência de produtos importados, principalmente nesse ramo da irrigação. Em contrapartida, o desenvolvimento de produtos nacionais para irrigação precisa considerar alguns aspectos importantes em função da escassez crescente de água, sendo necessário produzir tecnologias que minimizem seu desperdício.

Em contrapartida, com a crescente redução na disponibilidade dos recursos energéticos, é imprescindível o desenvolvimento de equipamentos de irrigação mais eficientes e de baixo custo, viabilizando seu uso em propriedades rurais.

É possível atentar para alguns fatos e elaborar ações estratégicas que objetivem auxiliar o pequeno produtor rural com a finalidade de reduzir parcialmente o êxodo rural e, até mesmo, criar alternativas de renda, inclusive para a população de periferia das grandes cidades, onde se localizam lotes que podem comportar a produção de hortaliças para comércio e consumo próprio.

Para isso, a proposta deste trabalho é desenvolver e avaliar um kit de irrigação de pequeno porte, por gotejamento, fácil de ser montado no campo e que atenda a critérios internacionais de dimensionamento hidráulico. Assim, para o sistema de irrigação proposto, pretende-se aproveitar a energia resultante fornecida a um reservatório situado a 3 metros de altura, para abastecer, por energia da gravidade, os canteiros utilizados para o cultivo de hortaliças.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Irrigação localizada

O método de irrigação localizada destaca-se por aplicar água diretamente no sistema radicular da planta, promovendo, assim, uma economia no uso da água (Keller & Karmeli, 1975).

Portanto, todo método de irrigação apresenta características peculiares e, então para a irrigação localizada, podem ser citadas as seguintes vantagens:

a) torna possível o aproveitamento de pequenos mananciais, devido à alta eficiência do sistema de irrigação por gotejamento aplicar pequenas vazões a intervalos regulares reduzidos (Vieira, 1983);

b) maior produtividade, de acordo com Bernardo et al. (2005), consegue-se uma maior produtividade com a irrigação por gotejamento, principalmente para culturas que respondem a maiores níveis de umidade no solo, pois existe uma maior frequência de aplicação de água;

c) viabiliza o uso de águas salinas ou solos salinos (Dasberg & Bresler, 1985);

d) maior eficiência no controle fitossanitário, em função de não molhar toda área plantada e as partes aéreas dos vegetais, este sistema facilita o controle de ervas daninhas, insetos e fungos. Com isso, é obtida uma maior eficiência no uso de defensivos agrícolas (Bernardo et al., 2005);

e) economia de mão-de-obra (Hillel, 1982);

f) permite a fertirrigação, segundo Dasberg & Bresler (1985), por oferecer um melhor aproveitamento de fertilizantes, por este ser aplicado no solo diretamente na região da raiz, proporcionando menores perdas por lixiviação;

g) adapta-se a diferentes tipos de solos e topografia (Keller & Bliesner, 1990).

Dentre as limitações destacam-se as que estão diretamente relacionadas aos acessórios e emissores, assim como a forma de aplicação da água particular desse sistema de irrigação. Então, podem ser citados:

a) entupimento dos gotejadores: Dasberg & Bresler (1985) citam que, com o uso de emissores com pequenos diâmetros, sempre existe o risco de entupimento, comprometendo a eficiência e uniformidade de irrigação;

b) acúmulo de sais no solo: de acordo com Hillel (1982), a água distribui-se no solo vertical e horizontalmente, formando, na superfície, um bulbo molhado, cujo centro é o ponto de queda do líquido. Nesse movimento, os sais presentes no solo são carregados para a periferia do bulbo, onde tendem a se concentrar;

c) alto custo de implantação, pelo fato de a irrigação localizada utilizar peças e acessórios geralmente importados (Nakayama & Bucks, 1986);

d) restrição ao desenvolvimento das raízes da planta: Nakayama & Bucks (1986) afirmam que, no gotejamento, a água é aplicada numa parte do volume total do solo e conseqüentemente, as raízes tendem a se concentrar no bulbo molhado, próximo ao emissor ou ao longo de cada linha lateral.

Mesmo com todas as restrições, a irrigação localizada apresenta-se como um método viável para o agricultor, principalmente na economia no uso da água. Entretanto, com o avanço tecnológico recente, é importante o estudo de novas técnicas que propiciem a melhora desta tecnologia.

2.2 Constituintes do sistema de irrigação por gotejamento

2.2.1 O gotejador

O gotejador é o principal acessório do sistema de irrigação localizada. São estruturas de plástico conectadas às linhas laterais capazes de dissipar a pressão existente na linha de irrigação e aplicar vazões relativamente pequenas e constantes.

Para Maia (1994), os emissores são elementos de maior importância nas instalações de irrigação localizada. São dispositivos que possibilitam a distribuição de fluxo de água com vazão e frequência constantes. O fluxo de água nos emissores, conectados às tubulações, sofre uma dissipação de energia tal que resulta em gotas ou pequenos jatos fornecidos a um ponto ou área do solo.

Vieira (1996) cita que o gotejamento caracteriza-se pela liberação de água para o solo de modo pontual, por meio de dispositivos denominados gotejadores, na forma de gotas e em vazões reduzidas.

Bernardo et al. (2005) citam que a vazão dos emissores encontra-se, em geral, no intervalo de 1 a 10 L h⁻¹ e que, normalmente, trabalham numa pressão de serviço de 10 metros de coluna de água (mca)¹, existindo modelos que funcionam a pressões menores de até 5 mca e outros em até 30 mca. Também há modelos que trabalham com vazão constante sobre uma ampla faixa de pressão, sendo definidos como autocompensantes.

Keller & Karmeli (1975) relatam que as principais características para a escolha dos emissores utilizados num projeto de irrigação são: vazão relativamente baixa, constante e uniforme, assim como um orifício de saída de fluxo não muito restritivo para evitar problemas de entupimento.

¹ A pressão de 1 mca equivale a, aproximadamente, 9,80663 kPa.

A chamada curva característica do emissor descreve o comportamento da vazão em função da pressão (Keller & Karmeli, 1974). É uma equação potencial, conforme Equação (1).

$$q = K_d \cdot h^x \quad (1)$$

em que:

q = vazão (L h⁻¹);

K_d = coeficiente de proporcionalidade;

h = pressão de serviço (mca);

x = expoente que caracteriza o regime de fluxo no emissor (adimensional).

Analisando-se o valor do coeficiente de descarga (x), os emissores são classificados conforme Tabela 1.

TABELA 1 Classificação dos emissores segundo o expoente (x)

Emissores	Valores de “x”
Regime laminar	1
Microtubos	0,75 – 1
Helicoidal	0,65 – 0,75
Regime turbulento (orificio, labirinto)	0,5
Vortex	0,4
Autocompensante	0 – 0,4
Teórico perfeitamente autocompensante	0

Fonte: Keller & Karmeli (1975)

Vieira (1996), estudando o tubo gotejador tipo labirinto Rain-Tape TPC da Rain-Bird[®], obteve a constante que caracteriza o regime de fluxo igual a 0,4563, classificado como de regime turbulento. Marinho et al. (1999), analisando o tubo perfurado Santape, chegaram a um expoente de 0,5646 classificado como regime turbulento.

Pesquisas feitas por Testezlaf & Campioni (1993), caracterizando o gotejador “Queen Gil”, chegaram ao valor do expoente igual a 0,625, concluindo que o regime de escoamento do gotejador está dentro da região de transição ou próximo à região laminar. Este valor demonstra que o gotejador estudado é sensível à variação de pressão.

Os emissores com baixos valores de expoente, exceto os autocompensantes, são os mais toleráveis à variação de pressão. Com isso, os gotejadores podem ser classificados, segundo Keller & Bliesner (1990) em: muito tolerante - expoente compreendido entre 0,2 a 0,5; tolerante - expoente entre 0,5 a 0,6; pouco tolerante - expoente entre 0,6 a 0,8 e muito pouco tolerante - expoente maior que 0,8.

Outro parâmetro importante na caracterização dos emissores é sua sensibilidade ao entupimento, que está diretamente relacionada com o diâmetro da passagem de fluxo e da velocidade de passagem da água. Estudos realizados por Botrel (1984) acrescentam que pequenas variações nos orifícios de saída de água (1 a 2 mm) causam grandes diferenças na vazão a uma mesma pressão, concluindo que mesmo o entupimento parcial prejudica a uniformidade de aplicação de água.

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°C a 60°C. Em contrapartida, a variação de emissores tipo vortex e orifícios não é drasticamente afetada pela mudança de temperatura. Para tentar diminuir o

efeito da temperatura na uniformidade, o mesmo autor aconselha utilizar o sistema de irrigação localizada à noite, eliminando, assim, a incidência solar. Outra alternativa viável seria reduzir o tempo de retenção da água com o uso de emissores de alta vazão ou até enterrando as linhas laterais.

Em irrigação localizada, os emissores geralmente possuem dimensões reduzidas, dificultando a precisão em sua fabricação e tornando-se um importante parâmetro considerado no dimensionamento de sistemas de irrigação. Com isso, é avaliado o coeficiente de variação de fabricação proposto por Keller & Bliesner (1990), que é determinado pela Equação (2).

$$CVf = \frac{S}{q_m} \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

CVf = coeficiente de variação de fabricação (%);

S = desvio padrão ($L h^{-1}$);

q_m = vazão média ($L h^{-1}$).

Segundo Solomon (1985), os valores típicos do CVf variam entre 2% e 10% podendo, algumas vezes, serem observados valores mais elevados.

Quanto aos valores de CVf, a norma ASAE EP 405.1 (1993), apresenta uma classificação dos emissores, a qual consta a Tabela 2.

TABELA 2 Coeficiente de variação de fabricação (CVf) dos emissores

Tipo de emissor	CVf (%)	Interpretação
Emissores com saída pontual	<5	Excelente
	5 - 7	Médio
	7 - 11	Marginal
	11 - 15	Deficiente
	> 15	Inaceitável
Emissores com saída em faixa contínua	< 10	Bom
	10 - 20	Média
	> 20	Marginal / Inaceitável

Fonte: ASAE EP 405.1 (1993)

Estudos feitos por Testezlaf & Campioni (1993) encontraram para o tubo gotejador “Queen Gil”, composto por emissores tipo labirinto, espaçados em 0,30 m, um CVf médio de 2,8%, indicando boa qualidade de fabricação.

Schimidt (1995), estudando o mesmo tubo gotejador, para a pressão de 6,8 mca e temperatura da água de 30°C, encontrou uma vazão média de 1,33 L h⁻¹ e um CVf de 3,11%, comprovando alta qualidade de fabricação.

Vieira (1996), avaliando o tubo gotejador Rain-Tape TPC da Rain-Bird®, obteve o valor do CVf igual a 1,97%, classificando-o como excelente conforme ASAE (1993).

2.2.2 Linhas principal, de derivação e lateral

A linha principal conduz a água do reservatório para as linhas de derivação. Para isso, geralmente utilizam-se tubos de polietileno ou PVC rígido, que podem ser enterrados ou dispostos na superfície (Bernardo et al., 2005).

As linhas de derivação transportam água da linha principal para as linhas laterais. Geralmente, são construídas de tubos de polietileno flexível ou PVC rígido.

As linhas laterais são, preferencialmente, instaladas em nível e fabricadas de tubos de polietileno flexível nos quais são instalados os emissores. As laterais ficam espaçadas ao longo da linha de derivação a distâncias normalmente determinadas em função do espaçamento entre as fileiras de plantas (Bernardo et al., 2005).

2.2.3 Filtros e qualidade da água

O entupimento dos emissores é uma das principais preocupações encontradas na irrigação localizada. Os principais agentes causadores do entupimento são as partículas minerais, orgânicas e silte.

Então, para se evitar o entupimento e elevar a vida útil dos gotejadores, é indispensável o uso de filtros. Em consequência, a utilização deste acessório proporciona uma boa uniformidade de aplicação de água.

Em irrigação localizada, os gotejadores são altamente susceptíveis à obstrução por algas e matéria orgânica. Por isso, é muito importante a limpeza periódica do filtro, para se evitar obstruções e melhorar a uniformidade de aplicação de água. Em contrapartida, as precipitações que ocorrem dentro dos emissores devem ser removidas com uma lavagem periódica do sistema, utilizando-se soluções de 1% a 2% de ácido clorídrico (Bernardo et al., 2005).

Assim, estudos realizados por Rav-Acha et al. (1995) verificaram que 2 mg L^{-1} de Cl_2 ou ClO_2 causaram rápida inativação de bactérias, mas, até concentrações de 20 mg L^{-1} não afetaram o número de células de algas, embora tenha reduzido sua capacidade de multiplicação e quantidade de clorofila.

Valores segundo potencial de risco ao entupimento no uso de água nos sistemas de irrigação localizada onde se destacam problemas de origem física, química e biológica encontram-se na Tabela 3. Bucks et al. (1979) citam que principalmente as águas superficiais podem apresentar restrições de uso para este método de irrigação.

TABELA 3 Risco ao entupimento no uso da água para irrigação

Tipo de problema	Unidade	Baixo	Médio	Severo
Físico				
Sólidos suspensos	ppm	<50	50-100	> 100
Químico				
pH	-----	<7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos	ppm	< 500	500 - 2000	> 2000
Manganês	ppm	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ferro		< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Sulfeto de hidrogênio	ppm	< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0
Biológico				
População bacteriana	Número máximo UFC*/ml	< 10000	10000 -50000	> 50000

*Unidades formadoras de colônia

Fonte: Bucks et al. (1979).

2.2.4 Conectores

Os conectores são acessórios que interligam a linha lateral à derivação. São caracterizados por possuírem uma saliência necessária para o encaixe na perfuração do polietileno ou PVC da linha de derivação. Devem ser

considerados como elementos indispensáveis na contabilização da perda de carga, devido a passagem, mudança de sentido e estreitamento da seção de passagem da água, causando uma queda de energia no início da linha lateral (Melo et al., 2000).

De maneira geral, qualquer agente perturbador, elemento ou peça que venha proporcionar ou elevar a turbulência nas canalizações, assim como mudar a direção ou alterar a velocidade do fluxo, é responsável por uma perda de energia (Azevedo Netto, 1998).

Melo et al. (2000) estudaram conectores da marca americana Hardie Irrigation, obtendo equações de perda de carga nas passagens direta e lateral, em função da velocidade da água na linha lateral a montante do conector e da velocidade da água na linha lateral. Os autores concluíram que valores de perda de carga localizada na passagem lateral foram mais elevados nas peças onde existia uma maior diferença entre o diâmetro de passagem inicial do conector e o diâmetro interno da linha lateral.

2.3 Hidráulica do sistema de irrigação localizada

2.3.1 Hidráulica da linha lateral

Para um correto dimensionamento, é importante determinar o local onde ocorre a menor pressão na linha lateral, assim como a localização do gotejador com a vazão média. No terreno em nível, o ponto de menor pressão e, conseqüentemente, o de menor vazão encontram-se no final da linha lateral e o gotejador, que tem a vazão média, localiza-se, aproximadamente, a 40% do início da lateral. Entre o emissor de vazão média e o final da linha lateral, perdem-se aproximadamente 27% da energia total disponível na lateral. No ramal, a maior pressão é registrada no início do sistema e a pressão mínima ocorre em seu final (Keller & Bliesner, 1990).

Em sistemas de irrigação localizada existe a necessidade de estudos para se determinar o regime de escoamento que é usualmente expresso pelo número de Reynolds, segundo Equação (3):

$$\text{Re} = \frac{V.D}{\nu} \quad (3)$$

em que:

Re = número de Reynolds;

V = velocidade da água (m s^{-1});

D = diâmetro interno da tubulação (m);

ν = viscosidade cinemática ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

Em estudos de problemas relacionados ao escoamento é interessante a aplicação da Fórmula Universal de perda de carga, também conhecida como Darcy-Weisbach, conforme Equação (4).

$$H_f = f \cdot \frac{L.V^2}{D.2g} \quad (4)$$

em que:

H_f = perda de carga total na tubulação (mca);

f = fator de atrito (adimensional);

L = comprimento da tubulação (m);

g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$).

A maioria das instalações das linhas laterais permanece em contato com a radiação solar diariamente, provocando uma variação na temperatura da água e, conseqüentemente, em sua viscosidade cinemática. Estas mudanças podem causar um envelhecimento precoce dos emissores. Assim, nota-se que um aumento da temperatura causa uma diminuição na viscosidade cinemática da água (Azevedo Netto, 1998).

O fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach definida pelo número de Reynolds, depende do tipo de escoamento, obtido pelas Equações (5) a (8), segundo Tabela 4.

TABELA 4 Equações para determinação do fator de atrito (f) segundo o número de Reynolds (Re)

Tipo de Regime	Re	f	
Laminar	$Re \leq 2000$	$f = \frac{64}{Re}$	(5)
Instável	$2000 < Re < 4000$	$f = 0,352 \cdot 10^{-5} Re^{0,85}$	(6)
Parcialmente turbulento	$4000 < Re < 10000$	$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$	(7)
Completamente turbulento	$Re > 10000$	$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$	(8)

Fonte: Bermuth & Solomon (1986)

Como característica principal, o regime laminar é dependente da temperatura de escoamento em função da baixa velocidade do fluxo. Em contrapartida, o regime turbulento sofre influência direta da rugosidade relativa do tubo. Por outro lado, também pode ocorrer o regime instável ($2000 < Re < 4000$), no qual é um fenômeno bem trabalhoso para quantificação,

por isso, é recomendável que o sistema de irrigação trabalhe em um dos regimes: laminar ou turbulento (Azevedo Netto, 1998).

No caso da irrigação localizada por gotejamento, Cabello (1996) recomenda o uso da equação de Blasius, Equação (9), para cálculo da perda de carga ao longo da linha de derivação em tubos de polietileno de pequeno diâmetro. A constante da equação considera o valor da viscosidade cinemática da água para a temperatura de 20°C.

$$J = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (9)$$

em que:

J = perda de carga unitária (m m^{-1})

Q = vazão de cada trecho da linha de derivação (L h^{-1})

D = diâmetro da tubulação (mm).

2.3.2 Hidráulica da linha de derivação

Para cálculo do diâmetro da linha de derivação, a velocidade máxima da água é de 2 m s^{-1} ao longo da tubulação (Keller & Bliesner, 1990). Assim, calculada a vazão em cada trecho, utiliza-se a Equação (10) para calcular o diâmetro mínimo que suporta a vazão do sistema.

$$D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V}} \quad (10)$$

em que:

D = diâmetro da tubulação (m)

Q = vazão do trecho ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

2.4 Critérios de dimensionamento do sistema de irrigação

Keller & Karmeli (1975) e Merriam & Keller (1978) recomendam que a variação da vazão máxima seja de 10% em todo o sistema de irrigação para não prejudicar a uniformidade de aplicação de água.

Pela máxima variação de vazão, pode-se encontrar a variação de pressão permissível, segundo a curva característica do emissor. Da diferença total de pressão permitida, 45% devem ocorrer na linha lateral e 55% no ramal principal, segundo metodologia de dimensionamento hidráulico proposta por Merriam & Keller (1978).

Segundo Bernardo et al. (2005), quando se trata de irrigação complementar, pode-se admitir uma máxima variação de 20% da vazão de serviço, correspondendo a uma perda de carga, ao longo da linha lateral, de aproximadamente 44% da pressão de serviço para emissores que trabalham em regime de fluxo turbulento.

2.5 Uniformidade de aplicação de água

A uniformidade de aplicação de água é um parâmetro que caracteriza o sistema de irrigação em função da diferença de volume aplicado na planta ao longo das linhas laterais. A uniformidade da irrigação tem efeito direto no rendimento de culturas, por isso, é considerada como um dos fatores mais importantes no dimensionamento e na operação de sistemas de irrigação segundo Barreto Filho et al. (2000).

De acordo com Faria (2002), a uniformidade de aplicação de água pelos gotejadores é fator fundamental ao sucesso do empreendimento. Para realização de um eficiente manejo de água e fertirrigação, é necessário que a uniformidade de aplicação de água seja a maior possível, pois, com a prática sucessiva da fertirrigação, algumas plantas podem receber quantidade menor de fertilizantes e, conseqüentemente, terem a produção comprometida.

Keller & Bliesner (1990) relatam que é recomendável, após a instalação de um sistema de irrigação, avaliar a adequação da irrigação por meio de testes em campo, para propor ajustes na operação e no manejo, visando maximizar a eficiência do sistema.

Para Solomon (1985), são fatores que afetam a uniformidade de aplicação de água: entupimentos, coeficiente de variação de fabricação, expoente de vazão do emissor da curva característica, sensibilidade do emissor à temperatura e variações de pressão ao longo do sistema.

De todos os sistemas de irrigação, a localizada possui os maiores valores de eficiência de aplicação de água, na ordem de 80% a 90%, bem superiores às faixas dos sistemas por aspersão, de 60% a 80%, e superfície, de 50% a 70% (Keller & Bliesner, 1990).

Para se determinar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação, recomenda-se selecionar um número determinado de plantas. Merriam & Keller (1978) recomendam um número de 16 plantas. Para isso,

pode-se seguir o seguinte critério: elege-se a subunidade a ser estudada e dela selecionam-se 4 linhas laterais: a primeira linha do sistema, a segunda situada a 1/3 da origem, a terceira situada a 2/3 da origem e a última lateral. Em cada lateral selecionam-se 4 plantas utilizando-se o mesmo critério (primeira, 1/3, 2/3 e a última) e faz-se a medição da vazão fornecida a cada planta.

Christiansen (1942) propôs um índice que avalia a uniformidade de aplicação de água, de acordo com a Equação (11).

$$CUC = (1 - [\frac{\sum_{i=1}^N [x_i - x_m]}{n \cdot x_m}]).100 \quad (11)$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (%)

x_i = lâmina de água obtida no emissor (mm)

x_m = lâmina média de água obtida nos pontos amostrados (mm)

n = número de observações (adimensional)

Segundo Bernardo et al. (2005), o valor mínimo admitido do CUC é de 80% dentro da parcela de irrigação no caso da irrigação localizada.

Outro índice definido por Keller & Karmeli (1974) como uniformidade de distribuição é apresentado na Equação (12), considerada uma relação entre os 25% menores valores de vazão e a vazão média de todos os gotejadores.

$$UD = \frac{q_{25}}{q_m} \cdot 100 \quad (12)$$

em que:

UD = uniformidade de distribuição (%);

q_{25} = 25% das menores vazões (L h⁻¹);

q_m = vazão média do total de gotejadores (L h⁻¹).

Como classificação, pode-se utilizar a UD de acordo com os valores da Tabela 5. Este critério tem como desvantagem não utilizar a variação na vazão, devido às causas do processo de fabricação dos emissores.

TABELA 5 Uniformidade de distribuição (UD) da aplicação de água

Valor	Uniformidade
$UD \geq 90\%$	excelente
$80\% \leq UD < 90\%$	boa
$70\% \leq UD < 80\%$	regular
$UD < 70\%$	ruim

Fonte: Keller & Karmeli (1974).

O índice UD foi modificado e redefinido por Keller & Karmeli (1974), ficando claramente definidas as variações na uniformidade devido aos fatores construtivos e fatores hidráulicos. Por isso, este parâmetro é considerado mais rigoroso para o dimensionamento e a avaliação em campo do sistema de irrigação. A estimativa da uniformidade de emissão, segundo Equação (13).

$$UE = \left(1 - \frac{1,27 \cdot CVf}{\sqrt{e}}\right) \cdot \frac{q_n}{q_m} \cdot 100 \quad (13)$$

em que:

UE = uniformidade de emissão (%);

CVf = Coeficiente de variação de fabricação (decimal)

e = número de emissores por planta;

q_n = vazão mínima na parcela ($L h^{-1}$);

Os intervalos comuns da UE em função da topografia local e emissores existentes por planta estão demonstrados na Tabela 6. Para um melhor entendimento, numa topografia ondulada existe uma maior variação na uniformidade de aplicação, devido às influências do relevo local se comparado ao relevo uniforme.

TABELA 6 Intervalo uniformidade de emissão (UE) recomendado segundo topografia local e número de emissores existentes por planta.

Tipo de emissor	Emissores/planta	Topografia	UE (%)
Pontual	≥ 3	Uniforme ¹	90 – 95
	< 3	Uniforme	85 – 90
	≥ 3	Ondulada ²	85 – 90
	< 3	Ondulada	80 – 90
Spray	Todos	Uniforme	90 – 95
	Todos	Ondulada	85 – 90
Faixa contínua	Todos	Uniforme	80 – 90
	Todos	Ondulada	70 – 85

¹Uniforme: declividade $\leq 2\%$;

² Ondulado: declividade $> 2\%$.

Fonte: ASAE EP- 405.1 (1993)

Estudos realizados por Favetta et al. (1993), correlacionando resultados de uniformidade de emissão, uniformidade de emissão estatística e uniformidade de emissão absoluta, demonstram haver alta correspondência entre esses índices. Por isso, é possível avaliar os sistemas de irrigação implantados pelos diferentes métodos.

2.6 Sistemas de irrigação por gotejamento à baixa pressão

Mackay (2003) cita que a utilização de pequenos “kits” com baldes e linhas laterais constituídas de microtubos é uma alternativa econômica que ajuda no desenvolvimento da população de baixa renda no meio rural. A utilização de microtubos ocorre, principalmente, em países pobres da Ásia e África, onde organizações internacionais tentam promover o desenvolvimento auto-sustentável de pequenos agricultores por meio da implantação de tecnologias de baixo custo. Existem instituições, como a *International Development Enterprises* (IDE) e *Intermediate Technology Consultants* (ITC), que desenvolvem, na Índia e no Zimbábue, o uso da irrigação por microtubos com alimentação por gravidade.

Desde o ano de 1995, a IDE vem trabalhando na redução dos custos da irrigação comercial para torná-la acessível aos pequenos produtores, possibilitando, então, o desenvolvimento da agricultura irrigada aos grupos de pequenos produtores no semi-árido e regiões montanhosas da Índia e Nepal. Nessas regiões da Ásia, os recursos hídricos são escassos e os produtores rurais não têm acesso a bombas ou sistemas de irrigação. Nesse contexto, a IDE utiliza a irrigação localizada por gravidade como alternativa para aumento do potencial de irrigação dos pequenos produtores. Em diversas localidades, este sistema alternativo substituiu a irrigação por superfície, que é a forma tradicionalmente utilizada (Frausto, 2000).

Ngigi (2001) relata que os kits de irrigação têm como vantagens flexibilidade e simplicidade, em comparação aos sistemas convencionais importados. Além disso, não há necessidade de mão-de-obra especializada para montagem, podendo ser facilmente instalados por fazendeiros e trabalhadores locais.

Maldonado & Compartido (2000) citam que, no México, onde os pequenos produtores são responsáveis por 40% da produção agrícola, existe um programa para desenvolvimento da irrigação em pequenas propriedades rurais. Nesse país, existem vários projetos que foram implantados para o estudo da viabilidade de uso de sistemas de irrigação localizada por gravidade.

2.6.1 Sistema GIDF, proposto por Gilead (1996)

Dentre os sistemas de irrigação existentes no mundo, Gilead (1996) sugere o sistema denominado de *Gilead Drip Furrow Irrigation System*, ou GIDF, que tem como objetivo reduzir os custos de instalação e manutenção possibilitando o uso de sistemas de irrigação localizada por agricultores de países em desenvolvimento.

Para montagem deste sistema de irrigação, são necessários os seguintes equipamentos: água e energia para ativar o sistema de irrigação, torre de elevação do reservatório, cabeçal de controle, filtro, injetor de fertilizantes, tubos de distribuição e tubos gotejadores conforme mostrado na Figura 1.

Uma das desvantagens desse sistema é a utilização de bomba para elevar a água até o reservatório. Mesmo sendo de baixa potência, a motobomba apresenta um gasto adicional para o produtor rural. Para o kit de irrigação sugerido neste trabalho, não existe, até então, informações técnicas disponíveis sobre estudos da uniformidade de aplicação de água.

O autor não mencionou pesquisas realizadas com o objetivo de determinar o comprimento máximo da linha lateral que pode ser utilizada em campo, assim como a avaliação da uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação idealizado.

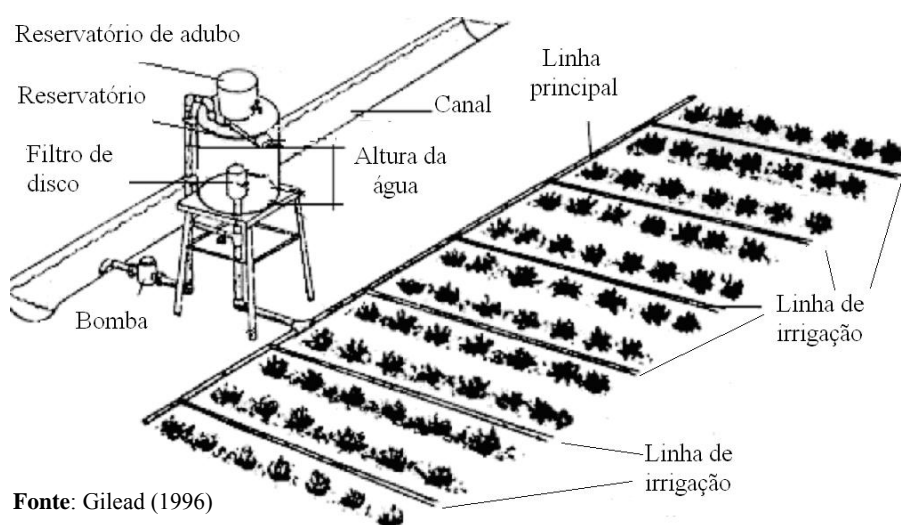


FIGURA 1 Sistema de irrigação idealizado por Gilead (1996)

2.6.2 Kit fabricado com orifícios, desenvolvido por Keller et al. (2001)

Outro sistema existente para pequenos agricultores foi desenvolvido por Keller et al. (2001). Por ele, a água é aplicada através de orifícios perfurados manualmente, com diâmetro de 0,8 mm, espaçados de 0,6 m ao longo das laterais. Este kit teve como meta irrigar pequenos lotes nas montanhas do Nepal. O sistema de irrigação proposto é constituído de 4 linhas laterais, com 12 metros de comprimento irrigando uma área de 100 m². As linhas laterais têm diâmetro de 14 mm e são de tubos de PVC rígido. Existe um reservatório de 50 litros

elevado a 1 metro de altura, o qual é preenchido manualmente cerca de 4 a 8 vezes por dia, dependendo do volume a ser aplicado em cada planta.

O sistema de irrigação (Figura 2) foi devidamente avaliado, chegando-se ao valor do CVf de 12,2%, concluindo-se que há uma rusticidade na fabricação dos orifícios, por serem fabricados manualmente. Os índices de uniformidade obtidos foram CUC de 90% e UD igual a 85%.

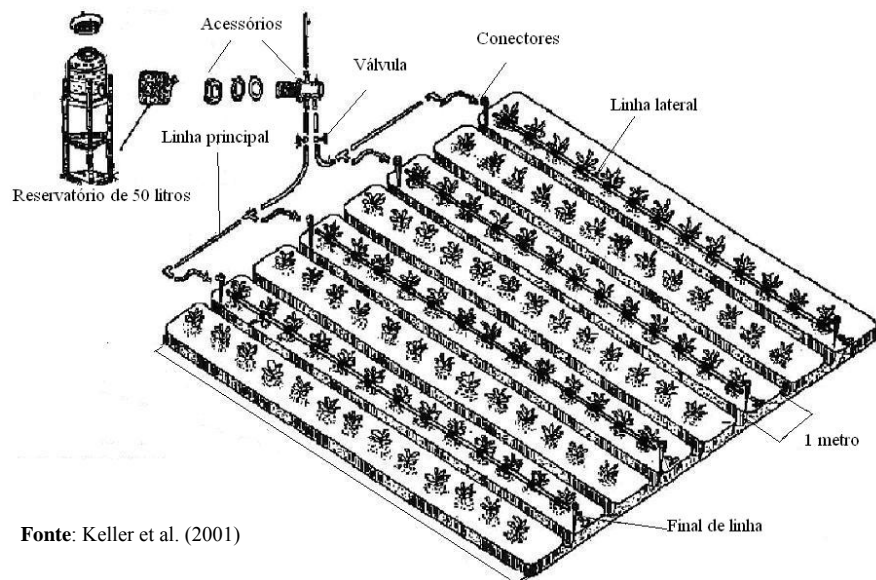


FIGURA 2 Kit de irrigação proposto por Keller et al. (2001)

2.6.3 Kit do Instituto IDE, fabricado com microtubos

Segundo Sijali (2001), o Instituto IDE desenvolveu um kit empregado na Índia, que utiliza microtubos com diâmetro de 1,2 mm e 0,6 metro de comprimento, com um espaçamento de 0,75 metro ao longo da linha lateral. No

kit de irrigação proposto, existe uma linha de derivação constituída de tubo de polietileno de diâmetro 16 mm. As laterais, com diâmetro de 12 mm, podem irrigar 1, 2 ou 4 plantas dependendo do espaçamento de plantio. O kit de irrigação é ilustrado na Figura 3.

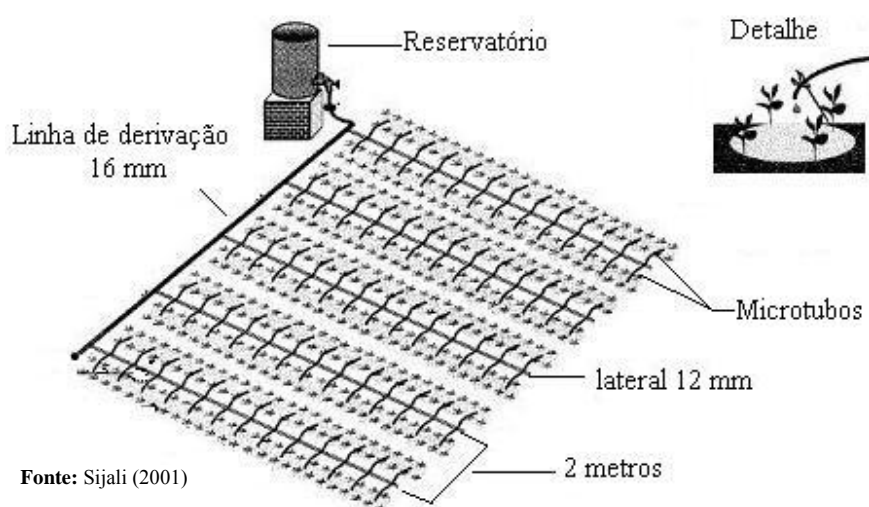


FIGURA 3 Kit de irrigação desenvolvido pelo Instituto IDE.

2.6.4 Kit de microtubos desenvolvido por Souza (2005)

Souza (2005), com o objetivo de desenvolver um sistema de irrigação econômico, avaliou linhas laterais com microtubos em canteiros de alface. A altura do reservatório recomendada é de 1 metro, para proporcionar uma vazão de 1 L h^{-1} ao microtubo.

A linha de derivação foi construída com diâmetro de 20 mm e as laterais com diâmetro de 13,6 mm e comprimento de 7,5 metros. Foi utilizado com comprimento mínimo dos microtubos de 0,55 metro. O sistema de irrigação

avaliado, com 16 canteiros, duas linhas de tubo gotejadores por canteiro com 4 linhas de plantio, teve um CVf igual a 2,3% e UD de 97%.

O autor destaca que o sistema de irrigação apresentou bom desempenho técnico, possibilitando o seu satisfatório uso. Além disso, existe vantagem econômica, devido ao baixo custo de investimento inicial, de mão-de-obra e de operação do sistema.

Uma das desvantagens apresentada foi a variação de vazão do microtubo segundo a mudança de temperatura e, conseqüentemente, a queda na uniformidade de distribuição.

2.7 Fertirrigação

A fertirrigação é definida como o processo de aplicação simultânea de água e fertilizantes, por meio de um sistema de irrigação, utilizado para complementar a adubação realizada por ocasião do plantio (Folegatti, 2001).

Dentre os métodos de irrigação mais eficientes para se fazer a fertirrigação, destaca-se o gotejamento, por aplicar a água diretamente no sistema radicular da planta. Por meio da formação do bulbo molhado, pela irrigação freqüente, aumenta-se o poder de aplicação dos nutrientes porque, com isso, a aplicação de fertilizantes através do sistema de irrigação é mais eficiente em comparação com a aplicação pelo método convencional.

Como a maioria dos adubos são sais que ionizam facilmente com a presença de água, para se determinar a sua quantidade existente em uma solução utiliza-se como parâmetro a condutividade elétrica (CE) da solução padronizada, a uma temperatura de 25°C. Quanto maior a CE de um material melhor condutor será este e, no caso de soluções salinas, maior será a concentração de sais. A CE obtida em uma amostra varia diretamente com a temperatura, por isso, as medições são corrigidas para 25°C (CE_c), pelo fator de correção (Cabello, 1996).

Segundo Nakayama & Bucks (1980), a adição de produtos químicos na água de irrigação não deve ser corrosiva, deve ser solúvel em água, deve ser econômica, não entupir componentes do sistema, não ser perigoso para uso em campo e não reagir adversamente com os sais ou outros elementos químicos contidos na água de irrigação.

É de extrema importância conhecer a qualidade da água de irrigação a ser utilizada e também sua salinidade. Em geral, pode-se dizer que uma água com $CE < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$ não apresenta nenhuma restrição para uso em fertirrigação. Já valores de CE acima de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ passam a apresentar certa restrição de uso, sendo desaconselhável o uso da água para a irrigação. Além destes íons presentes na água, deve-se considerar a toxicidade de íons específicos, que poderão afetar certas culturas sensíveis a tais elementos. Outro índice importante a ser avaliado é o pH, que deve encontrar-se na faixa de 6,5 a 8,4, para possibilitar o uso da fertirrigação (Folegatti, 2001).

Segundo Papadopoulos (1985), a fertirrigação reduz as flutuações da salinidade encontrada na solução do solo causada pelos fertilizantes, melhorando, assim, as condições do solo, especialmente para as culturas sensíveis à salinidade.

Hagin & Tucker (1982), citados por Alves (1992), afirmam que a aplicação de potássio na água de irrigação é relativamente livre de problemas dada à alta solubilidade da maioria dos sais de potássio. O cloreto de potássio tem 34 partes solubilizadas em 100 partes de água a 20°C e o nitrato de potássio apresenta o valor de 32 na mesma temperatura. O sulfato de potássio tem uma solubilidade menor (11 partes solubilizadas a 20°C), visto que a água com altos teores de cálcio pode causar a formação de sulfato de cálcio, tornando-se menos solúvel ainda. Portanto, o sulfato de potássio é menos recomendável para a fertirrigação do que o cloreto e o nitrato de potássio.

Alves (1992), trabalhando com tanque de derivação de fluxo e bomba injetora, analisou a uniformidade de distribuição por meio da variação espacial e temporal da quantidade de cloreto de potássio aplicado na linha de irrigação. Concluiu que os tempos de irrigação 60, 90 e 120 minutos, para uma linha de irrigação de 108 metros, mostraram-se adequados e que não houve variação espacial na distribuição de fertilizantes. Ainda, encontrou coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) superiores a 96%.

2.8 Cultura do tomate

Conforme EMBRAPA (1993), o tomateiro tem sua origem nas regiões andinas do Peru, Bolívia e Equador e seu fruto era chamado pelos indígenas mexicanos, de *tomati* ou *jitomate*.

O tomateiro é uma planta altamente susceptível ao ataque de pragas e doenças, apresentando ciclo relativamente curto e elevado valor comercial. Além disso, tem alta capacidade de produção, o que acaba exigindo grande quantidade de insumos e serviços, por isso, os recursos financeiros investidos são elevados (Anti, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e condução do experimento

O experimento foi realizado em duas etapas. A primeira foi conduzida no Laboratório de Hidráulica, pertencente ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG/UFLA), Lavras, Minas Gerais, no período de julho a setembro de 2005. Foi instalada uma bancada de testes para estudo do comprimento máximo da linha lateral, avaliação das características de fabricação dos gotejadores, bem como testes para quantificação da perda de carga nos conectores.

A segunda etapa consistiu em instalar e avaliar em campo kits de irrigação desenvolvidos em laboratório. Durante os meses de novembro de 2005 a janeiro de 2006, num período compreendendo 90 dias, foi cultivado o tomate numa área experimental pertencente à UFLA/FAEPE, localizada entre a cidade de Ijaci e o distrito de Macaia. Assim, foram avaliados coeficientes de uniformidade de aplicação de água e a variação na uniformidade de aplicação de fertilizantes dos kits de irrigação. Para a análise da fertirrigação, foi intercalado o emprego de um adubo à base de fósforo e micronutrientes e uma formulação de fertilizantes (MAP, Uréia e KNO₃).

3.2 Avaliação em laboratório

3.2.1 Caracterização do tubo gotejador

O tubo gotejador empregado no projeto foi o modelo Hydrogol[®] 12/25/1, fabricado pela Plastro[®] do Brasil, o qual possui um diâmetro interno de 10,4 mm e emissores espaçados em 0,30 metro. Os gotejadores têm uma vazão

nominal de $1,0 \text{ L h}^{-1}$, à pressão de serviço de 10 mca recomendada pelo fabricante.

O princípio de funcionamento dos emissores encontra-se esquematizado na Figura 4. Percebe-se a presença de passagens bem estreitas em formato de labirinto, em seu interior, projetadas para dissipar a energia da água.

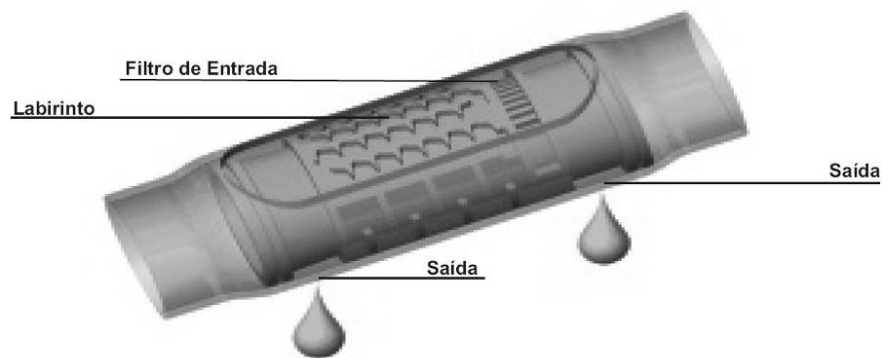


FIGURA 4 Partes constituintes do gotejador labirinto

Com a finalidade de avaliar o funcionamento do emissor, a uma pressão constante, foi necessário instalar um reservatório de água com capacidade de 50 litros, ao qual adaptou-se um mecanismo de drenagem com o objetivo de eliminar o excesso de água. Com isso, a vazão de entrada foi regulada para sempre permanecer superior à de saída, com a finalidade de manter constante a altura de água dentro do reservatório. Este recipiente foi instalado em uma estrutura móvel, que possibilitou variar sua altura (0,5 a 3,5 metros), permitindo, assim, a coleta dos dados para confecção da curva característica dos emissores nos intervalos de pressão requeridos.

A bancada de testes empregada para avaliar as características hidráulicas do tubo gotejador está representada na Figura 5. Um filtro de tela, com abertura de $130\ \mu\text{m}$, foi empregado, sendo necessário para minimizar problemas com entupimentos. Assim, preocupou-se em fazer uma verificação e lavagem periódica neste acessório para evitar obstruções por sólidos na linha de testes.



FIGURA 5 Bancada de testes para caracterização dos emissores

Visando à obtenção do coeficiente de variação de fabricação (CVf) e uniformidade de distribuição dos emissores (UD), foi avaliado um tubo gotejador com 18 metros de comprimento (60 emissores), segundo amostragem da norma ISO 9260, no qual foram anotados valores de vazão trecho a trecho. As coletas foram obtidas com o emprego de coletores de plástico e o volume medido com o auxílio de uma proveta de 500 mL, compreendendo um período

de tempo fixo até que se registrasse um valor mínimo de 200 mL. A temperatura da água foi medida por meio de um termômetro de mercúrio. Então, para cálculo do índice de uniformidade, empregou-se a média como grandeza representativa de um total de 3 repetições de testes de vazão do tubo gotejador.

Para proporcionar a leitura de tomada de pressão no início e no final da lateral, foram instaladas duas mangueiras transparentes e graduadas para medir a pressão existente na linha lateral em funcionamento, ou seja, por meio do uso de piezômetros. Optou-se por essa metodologia devido aos manômetros convencionais não fornecerem, com precisão, a leitura de intervalos baixos de pressão. Para leitura de vazão, foram utilizadas as seguintes pressões no início da linha lateral: 3,5; 3,0; 2,5; 2,0; 1,5; 1,0 e 0,5 mca. Esse intervalo de pressão foi adotado com o objetivo de instalar linhas de gotejadores em campo, funcionando apenas com a energia fornecida por um reservatório instalado a 3 metros de altura.

A disposição do tubo gotejador e coletores utilizados em laboratório está ilustrada na Figura 6. Pode-se notar que foram empregados dispositivos móveis para facilitar a medição de vazão dos emissores com a movimentação das linhas de tubo gotejadores.



FIGURA 6 Arranjo do tubo gotejador para testes laboratoriais

3.2.2 Determinação da perda de carga devido à inserção dos conectores nas linhas de derivação

Para a obtenção da perda de carga em função da inserção dos conectores de 12 mm (Figura 7) no tubo de polietileno, foi necessária a construção de uma bancada de ensaios.

A metodologia consistiu em controlar e medir a vazão de entrada no tubo de polietileno (PE) de DI 20,6 mm, assim como o fluxo de passagem direta (registro 1) e passagem lateral (registro 2). Para a quantificação da vazão, foram utilizados coletores, nos quais foi medido o volume recolhido durante um determinado intervalo de tempo que proporcionasse um valor acima de 200 mL. Foram empregados valores médios de três repetições como grandeza representativa.

Em cada intervalo de vazão estipulado, procedeu-se a medição das pressões no início (tomada de pressão P1), direta (tomada de pressão P2) e lateral (tomada de pressão P3), pela instalação de piezômetros. A bancada de teste está ilustrada na Figura 7.

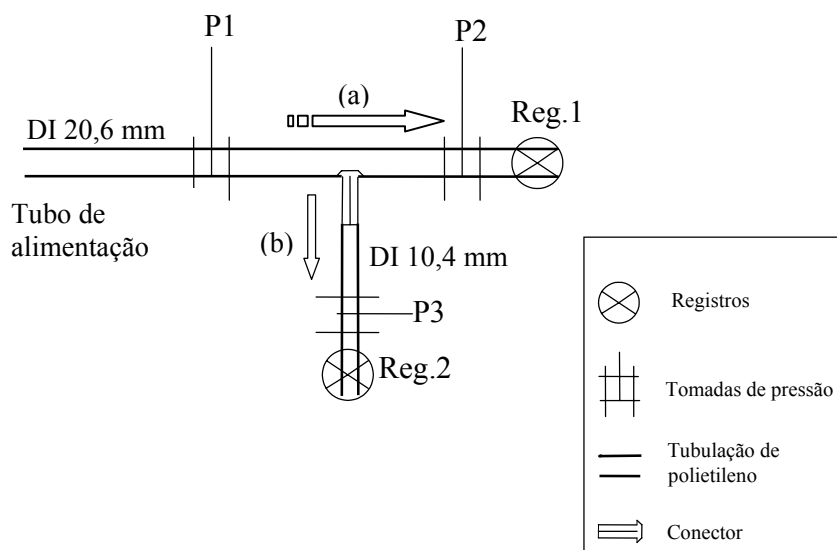


FIGURA 7 Bancada de ensaios para a quantificação da perda de carga na (a) passagem direta e (b) lateral de fluxo

3.3 Avaliação em campo

3.3.1 Montagem do sistema de irrigação em campo

Em campo, foram montados dois sistemas de irrigação, que consistiram de duas caixas de água de 1.000 litros, elevadas a uma altura de 3 metros (Figura 8) por meio da colocação de quatro moirões e duas travessas que serviram de apoio para cada caixa. A elevação dos reservatórios proporcionou a

pressão de funcionamento hidráulico dos kits de irrigação compostos por 7 linhas de tubo gotejadores de 30 metros cada.



FIGURA 8 Detalhe dos reservatórios instalados em campo

Com o objetivo de obter a caracterização da área experimental foi necessário fazer o levantamento planialtimétrico visando uma montagem satisfatória dos kits de irrigação (Figura 9). A irrigação localizada utilizando baixa pressão é sensível à mudança de relevo e, com isso, uma grande variação de pressão no sistema de irrigação pode comprometer a uniformidade de aplicação de água.

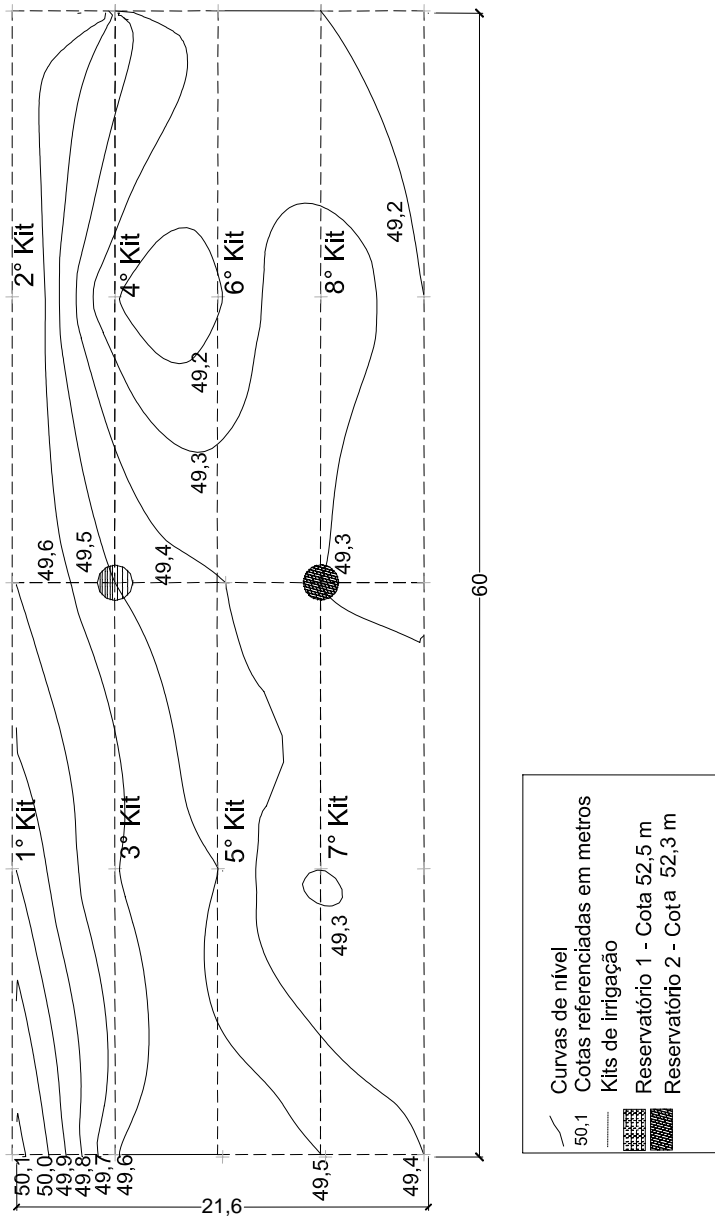


FIGURA 9 Levantamento altimétrico da área experimental

Em função da dimensão da área para o projeto, foi possível instalar 8 kits de irrigação, no qual cada caixa de água comporta 4 kits. Para tornar mínimo o risco de entupimento no sistema de irrigação, utilizou-se um filtro de disco (abertura 200 μm) e um de tela (abertura de 130 μm) em cada reservatório.

Com o intuito de facilitar o manejo, a área foi totalmente irrigada com os 8 kits funcionando simultaneamente e a altura da água permaneceu constante com o uso de uma bóia em cada reservatório.

Os kits de irrigação foram analisados separadamente, segundo o teste de uniformidade de aplicação de água, conforme metodologia proposta por Merriam & Keller (1978). Assim, coletou-se água, durante 3 minutos, na 1^a, 3^a, 5^a e 7^a (última) linhas laterais, dos emissores situados no início, a 1/3, 2/3 e o último das respectivas laterais. Também foram anotados dados de temperatura, medidos com o auxílio de um termômetro de mercúrio, no início e no final das laterais analisadas.

Para um estudo mais minucioso do funcionamento dos kits de irrigação, a variação da uniformidade de aplicação de água foi acompanhada durante o ciclo da cultura, que consistiu num período de 90 dias, a um intervalo de 20 dias, adotado entre os consecutivos testes.

Em campo, as linhas laterais, formadas de 100 emissores, foram dispostas acompanhando a linha de plantio, conforme Figura 10.

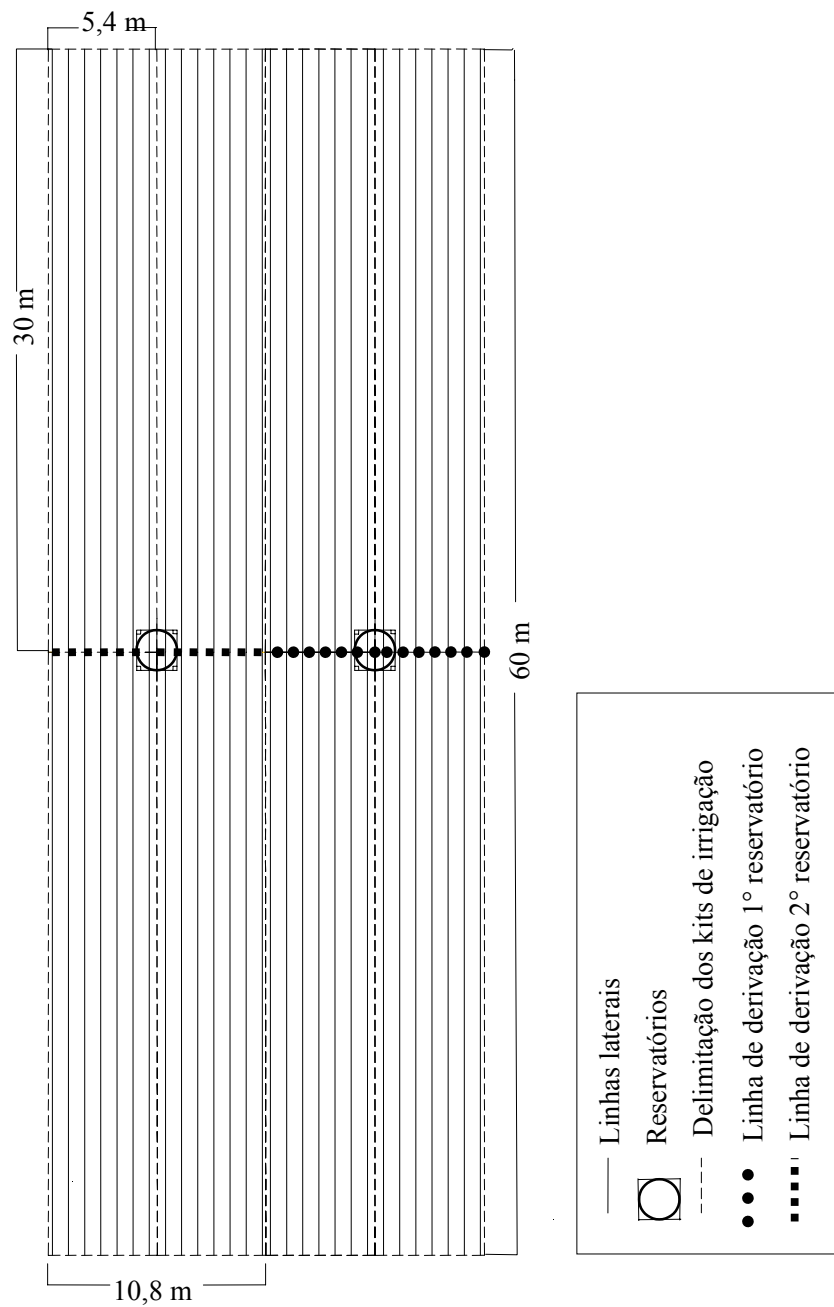


FIGURA 10 Disposição das linhas laterais instaladas em campo

Para irrigação da área, a água foi conduzida por gravidade do reservatório central, com capacidade de 10.000 litros, alimentado por um poço semi-artesiano localizado perto da sede da fazenda experimental.

O sistema de irrigação foi constituído por uma linha de adução (DI 29,4 mm) que alimentava duas caixas de água (DI 20,6 mm) por tubos de PVC rígido e uma linha de derivação (DI 20,6 mm) composta por tubo de polietileno de baixa densidade e conectores de 12 mm, como observado na Figura 11.

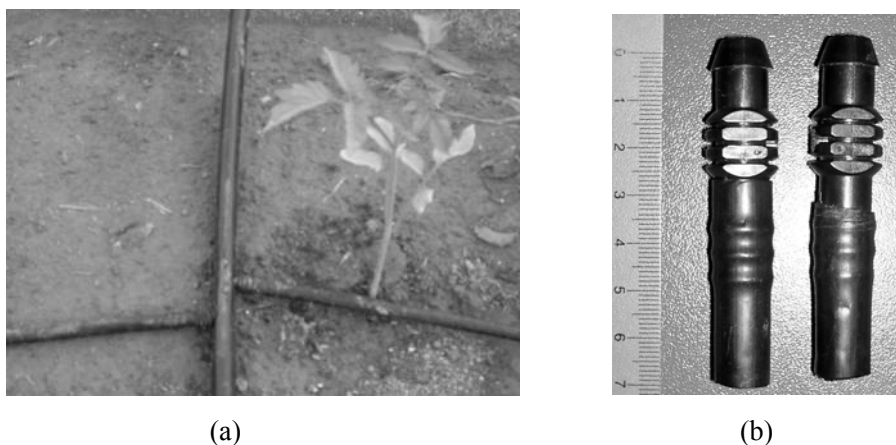


FIGURA 11 (a) Detalhe da linha de derivação e (b) conectores

A qualidade da água afeta diretamente o manejo do método de irrigação por gotejamento. Por isso, foram avaliados o pH, a condutividade elétrica, a concentração de sólidos fixos, voláteis e totais da água de irrigação. Na sétima semana de irrigação, foi adicionado hipoclorito de sódio (2% de cloro ativo em sua formulação) à água do reservatório a uma concentração de 20 mg L⁻¹ para

possibilitar a inibição da proliferação de algas resultante do uso de fertilizantes químicos, conforme sugerido por Rav-Acha et al. (1995).

Para o manejo da cultura, foi empregado um tempo de irrigação mínimo de 4 horas diárias, visando à formação de um bulbo molhado que satisfaça à demanda hídrica da cultura. Na fase inicial de desenvolvimento da cultura, houve a preocupação de acomodar a linha lateral o mais próximo possível das plantas, objetivando a formação de uma faixa molhada próximo ao sistema radicular do tomateiro. Em todo o período do experimento, a irrigação foi considerada como suplementar porque, nos meses de dezembro e janeiro, existe um considerável índice pluviométrico na região.

3.3.2 Sistema de fertirrigação

Visando avaliar a uniformidade de distribuição de fertilizantes, aplicou-se, semanalmente, uma quantidade de adubos requerida pela cultura em seu estágio de desenvolvimento. No sistema de irrigação implantado, os adubos foram diluídos no mesmo reservatório de irrigação que abastecia cada 4 kits.

Empregou-se, em semanas alternadas, uma formulação de MAP (fosfato monoamônico), uréia e KNO_3 , assim como um adubo à base de micronutrientes e fósforo (Aminosan[®]) e uso intercalado de CaNO_3 . Para evitar problemas de precipitados dentro da tubulação, tomou-se cuidado para não administrar adubos incompatíveis numa mesma fertirrigação. Então, neste caso, o fosfato monoamônico e o nitrato de cálcio foram aplicados em diferentes dias da semana.

A composição da formulação de adubos utilizadas na fertirrigação foi a seguinte: 50% de MAP (composto de 11% N e 60% de P_2O_5), 10% de uréia (composto de 45% N) e 40% de KNO_3 (12% N, 45% de K_2O e 1,2% S). Para suprir as deficiências nutricionais da cultura, foi usado um adubo à base de

micronutrientes, fósforo e nitrogênio cuja formulação compreende: 9% N, 2% P₂O₅, 1% K₂O, 0,02% Mg, 35% M.O., 0,04% B, 0,10% Cu, 0,2% Fe, 0,04% Mn, 0,002% Mo, 0,1% Zn e Co 0,001%.

No período de testes foi aplicada uma formulação de adubos (MAP, uréia e KNO₃) em cada reservatório a uma concentração 2000 mg L⁻¹. Na semana posterior, aplicou-se um adubo à base de micronutrientes, fósforo e nitrogênio, à concentração de 400 mg L⁻¹.

Para a coleta das amostras de fertilizantes, ao longo da linha lateral, utilizou-se a metodologia de uniformidade proposta por Merriam & Keller (1978) e adaptada para a fertirrigação, a qual consistiu em coletar água e fertilizantes dos gotejadores, durante 5 minutos, posicionados no início, a 1/3; 2/3 e último nas 1^a, 3^a, 5^a e 7^a linhas laterais. O nível da água no reservatório foi mantido constante com o auxílio de uma bóia e, para a padronização dos testes, antes das coletas, esperou-se o sistema de irrigação estabilizar por 7 minutos e avaliou-se a condutividade elétrica das amostras, corrigida em função da temperatura.

Para avaliação da uniformidade de aplicação de adubos, foram obtidas amostras do fertilizante líquido (dia 10 de janeiro de 2006) e uma outra amostra da mistura de MAP, uréia e KNO₃ (dia 18 de janeiro de 2006), objetivando a análise da condutividade elétrica da solução em laboratório, por meio de um condutivímetro modelo CONDUCTOMER E587, da METROHM AG VH-9100 HERISAU – SWITZERLAND. Então, visando diminuir erros humanos, foram utilizadas duas leituras de uma mesma amostra e, posteriormente, água destilada para lavar os eletrodos e minimizar a influência de resíduos de sais no sensor do aparelho. De posse das 64 amostras, mediram-se a condutividade elétrica e sua respectiva temperatura, com a ajuda de um termômetro de mercúrio. O condutivímetro e o arranjo das amostras preparadas para leitura encontram-se na Figura 12.

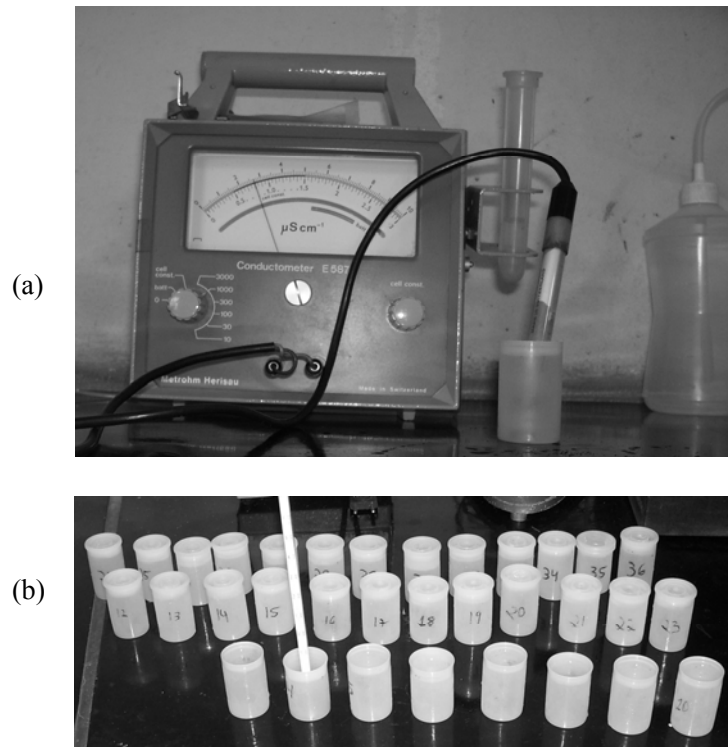


FIGURA 12 (a) Condutivímetro e (b) amostras para avaliação

Com a finalidade da determinação de uma equação de regressão, resultante da obtenção da relação da condutividade elétrica versus concentração de produto, foram preparadas várias soluções conhecidas de concentrações de adubos e medida a respectiva condutividade elétrica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos gotejadores

4.1.1 Curva característica

A relação vazão *versus* pressão do tubo gotejador foi resultado do ajuste da equação de modelo potencial, Equação (1), com pares de valores médios de vazão e pressão representados na Figura 13. Pela análise do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9971$), percebe-se o bom ajuste do modelo aos dados observados, considerado, assim, como satisfatório para representar valores de vazão obtidos em laboratório. Note-se que esta curva ajustada é válida unicamente para este modelo de emissor e para um intervalo de pressão de 0,5 a 3,5 mca.

Assim, o expoente da equação potencial estimada igual a 0,4855 indica que o regime de escoamento dos emissores é turbulento e que o emissor é caracterizado como tolerante, segundo a variação de pressão, de acordo com classificação proposta por Keller & Karmeli (1974).

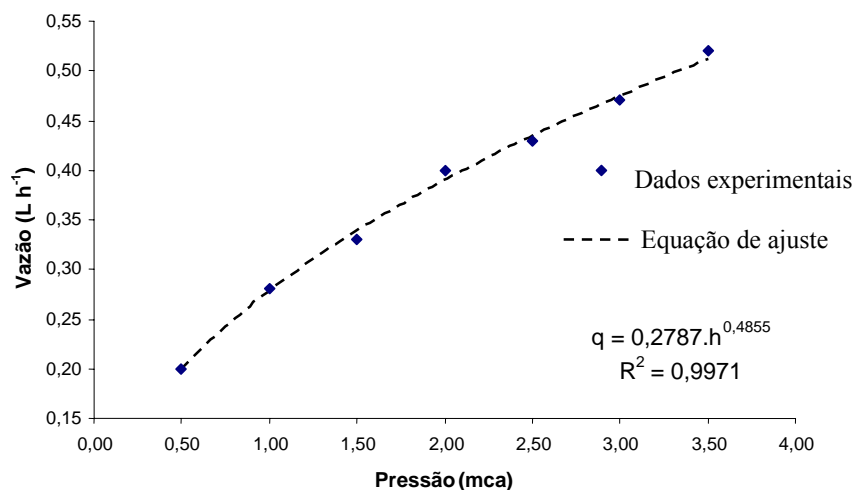


FIGURA 13 Curva característica do tubo gotejador Hydrogol® 12/25/1

4.1.2 Coeficiente de variação de fabricação

O coeficiente de variação da vazão, em função das características construtivas, está representado na Tabela 12. Os emissores que constituem o tubo gotejador podem ser classificados como de excelente qualidade, segundo processo de fabricação, de acordo com a ASAE (1993).

A pressão de 2,5 mca, que é a pressão disponível para funcionamento do sistema de irrigação a altura de 3 metros do reservatório, corresponde à vazão média de 0,43 L h⁻¹, ao desvio padrão 0,011 L h⁻¹ e CVf de 2,59%, conforme Tabela 7.

TABELA 7 Pressão do emissor (P), vazão média (Qm), desvio padrão dos dados (S) e coeficiente de variação de fabricação (CVf)

P (mca)	Qm (L h ⁻¹)	S (L h ⁻¹)	CVf (%)
0,5	0,20	0,0064	3,26
1,0	0,28	0,0120	4,10
1,5	0,33	0,0050	1,49
2,0	0,40	0,0100	2,56
2,5	0,43	0,0110	2,59
3,0	0,47	0,0080	2,20
3,5	0,52	0,0100	1,98

Na Figura 14 é exibida a variação de vazão dos gotejadores ao longo da linha lateral. Observou-se pouca mudança de vazão ao longo da linha de emissores de 18 metros de comprimento, constituída de 60 gotejadores, funcionando a pressões no intervalo de 3,5 a 0,5 mca. Então, todas as pressões estudadas contribuíram para uma variação de vazão ao longo da linha lateral, representando uma boa uniformidade de aplicação de água, mesmo ocorrendo perda de pressão ao longo da linha de emissores.

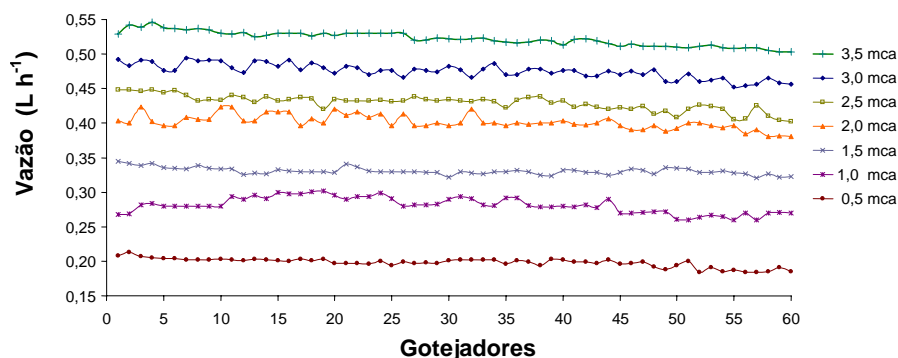


FIGURA 14 Variação da vazão, em função da mudança de pressão no tubo gotejador com 60 emissores

4.2 Avaliação da perda de carga nos conectores

Devido à baixa pressão disponível no sistema de irrigação proposto, avaliaram-se as perdas de carga existentes na passagem da água, devido à redução da seção e à mudança de sentido do fluxo na tubulação.

A perda de carga em função da passagem direta ocorre em razão do estrangulamento da seção, que provoca um aumento na velocidade da água a qual é necessária para conduzir a mesma vazão ao longo do tubo, causando conseqüente perda de energia no sistema.

De modo análogo, a perda de carga devido à passagem lateral de fluxo ocorre por causa de uma mudança de 90 graus na direção do escoamento. Conseqüentemente, ocorre uma maior perda de carga nesse fenômeno porque existe um estrangulamento da seção e uma mudança no sentido de passagem, simultaneamente, provocando um turbilhonamento local. A Figura 15 demonstra os valores da perda de carga devido à passagem lateral de água no conector de 12 mm ensaiado em laboratório.

Pode-se notar que um aumento no valor da vazão no tubo provoca um gradativo aumento na perda de carga, devido à passagem lateral da água. Isso se deve à grande perda de energia ocorrida na mudança de direção do fluxo da água. A passagem direta da água pela tubulação não ofereceu perda de carga expressiva, devido às baixas vazões do sistema de irrigação proposto.

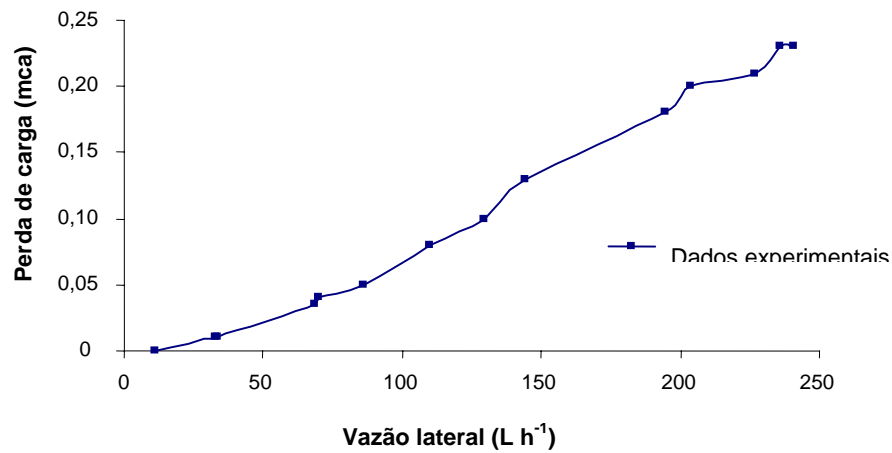


FIGURA 15 Perda de carga na passagem lateral da água no conector de 12 mm

4.3 Comprimento máximo da linha lateral

Na Tabela 8 encontram-se os valores de comprimento máximo de linhas laterais avaliados em laboratório, à pressão de 2,5 mca no início da linha de irrigação. Conforme metodologia proposta por Merriam & Keller (1978), o valor máximo da perda de pressão na linha lateral, segundo condições experimentais, é de 0,21 mca. Portanto, observando-se os dados da Tabela 8, constata-se que a linha de irrigação pode ter um comprimento máximo de, aproximadamente, 30 metros.

TABELA 8 Comprimento máximo da lateral ($L_{\text{máx}}$), vazão da lateral (Q_{lat}) e perda de carga do tubo gotejador ($H_{\text{f}_{\text{tubo}}}$)

$L_{\text{máx}}$ (m)	Nº emissores	$H_{\text{f}_{\text{tubo}}}$ (mca)
15,0	50	0,03
16,5	55	0,03
18,0	60	0,04
19,5	65	0,04
21,0	70	0,05
22,5	75	0,06
24,0	80	0,07
25,5	85	0,10
27,0	90	0,12
28,5	95	0,19
30,0	100	0,23
31,5	105	0,25
33,0	110	0,26
34,5	115	0,27
36,0	120	0,30
37,5	125	0,33
38,4	128	0,35

4.4 Dimensionamento do ramal do sistema de irrigação

Para a obtenção do número de trechos entre as linhas laterais, adotou-se o limite de 55% da perda de pressão total, segundo metodologia proposta por Merriam & Keller (1978). Levou-se em consideração que cada linha lateral tem uma vazão de $41,8 \text{ L h}^{-1}$, para o cálculo da perda de carga. Com isso, cada trecho, constituído por duas laterais, possui uma vazão de $83,6 \text{ L h}^{-1}$.

O reservatório encontra-se a 3 metros de altura, porém, existe uma perda de carga em função da instalação de peças (tubo de PVC, flange, registro e filtro) disponibilizando uma pressão, no início da linha lateral, de 2,5 mca. Para uma variação de 10% na vazão dos emissores em funcionamento, o intervalo recomendado de vazão é de $0,39 \text{ L h}^{-1}$ e $0,44 \text{ L h}^{-1}$. Em função da curva característica do gotejador e da diferença de vazão permitida, chega-se ao valor

da variação de pressão permissível de 0,25 mca. Com isso, conclui-se que o sistema de irrigação projetado pode ser constituído de, no máximo, 7 linhas laterais. Assim, chegou-se ao kit de irrigação exibido na Figura 16 o qual demonstra a existência de 2 linhas laterais por canteiro.

Devido ao fato das hortaliças serem cultivadas num espaçamento convencionalmente pequeno e o implemento agrícola utilizado ter uma regulagem padronizada, os canteiros foram construídos com 1,20 metro de largura. Optou-se pelo espaçamento entre linhas de irrigação de 0,8 metro para proporcionar uma área ideal de cultivo nos canteiros.

Para a montagem do kit de irrigação, são utilizadas as seguintes peças e acessórios: 7 conectores de 12 mm, 210 metros de tubo gotejadores de DI 10,4 mm, filtro de tela com abertura de 130 μ m ou disco de 200 μ m, registro de esfera ou gaveta de DI 20,6mm, tubo de PE de 6,5 metros com DI 20,6 mm, adaptador interno de PVC para PE de DI 20,6 mm, curva de 90° de DI 20,6 mm e reservatório de água.

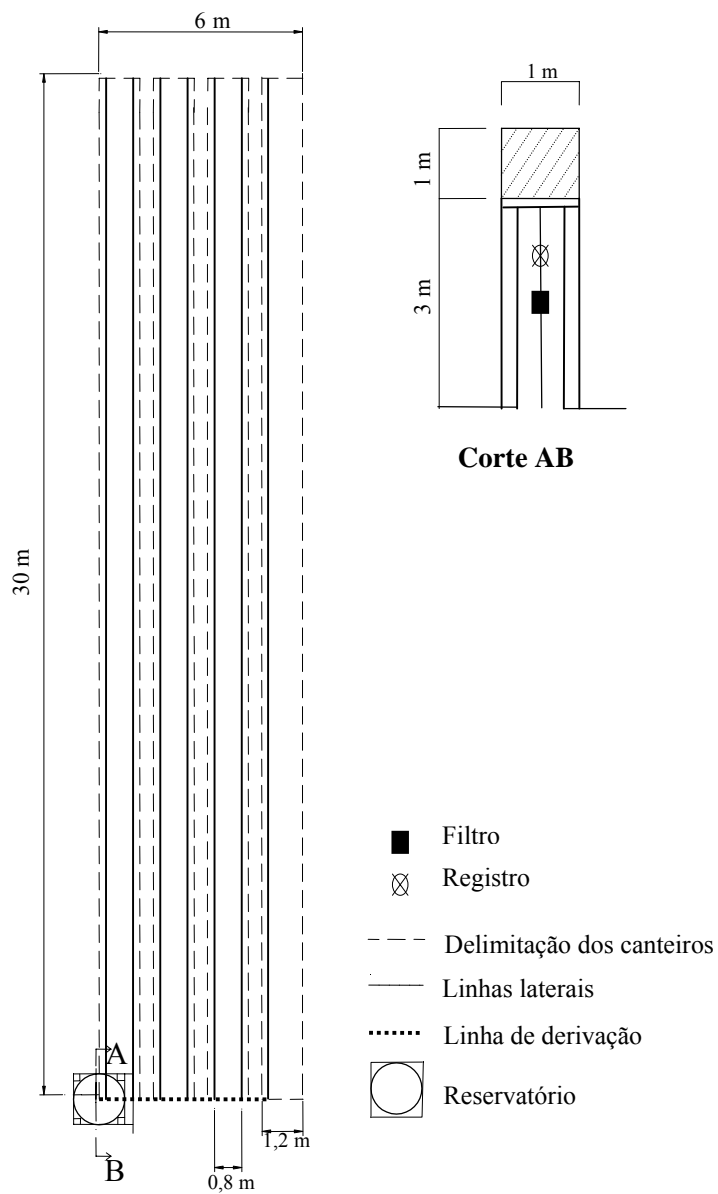


FIGURA 16 Kit de irrigação e reservatório instalados em campo

4.5 Avaliação da uniformidade no sistema de irrigação em campo

Os valores dos índices de uniformidade de aplicação de água obtidos pela análise dos 8 kits de irrigação, segundo o tempo de utilização, encontram-se na Tabela 9.

TABELA 9 Índices de uniformidade dos 8 kits de irrigação

Dias de uso	Kits de irrigação							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Uniformidade de Christiansen - CUC (%)								
10	98,88	97,65	98,13	97,87	97,38	97,48	97,66	97,29
30	98,32	97,76	97,22	97,07	97,50	96,70	97,32	97,47
50	96,54	96,69	96,36	96,52	97,02	96,75	96,98	96,57
70	95,68	96,39	96,11	95,95	96,36	96,46	96,29	95,73
90	95,06	95,58	95,86	96,25	95,32	95,92	96,31	95,64
Uniformidade de distribuição - UD (%)								
10	97,67	97,61	97,67	97,67	97,56	97,50	99,00	95,00
30	97,63	95,24	95,24	95,24	95,00	95,00	95,00	95,00
50	92,86	95,24	92,86	95,12	95,00	97,44	94,87	94,87
70	92,72	95,12	95,12	92,68	92,50	94,87	94,70	92,30
90	90,24	92,68	95,00	92,50	92,31	94,74	94,70	94,70
Uniformidade de emissão - UE (%)								
10	95,40	95,34	95,40	95,40	92,91	95,23	92,79	92,79
30	93,02	93,02	93,02	93,02	92,79	92,79	87,91	87,91
50	88,37	88,37	88,37	90,53	87,91	90,16	90,16	90,76
70	92,79	90,53	90,52	85,76	87,91	90,16	92,53	85,15
90	85,76	85,76	87,91	87,91	85,15	87,39	87,39	87,39

O regime de escoamento constatado nas linhas de derivação e lateral foi predominantemente laminar, provavelmente devido à baixa vazão e à baixa velocidade ocorridas no interior do tubo. Esse regime tem como inconveniente de ser mais sensível a mudanças de temperatura, influenciando, assim, a

viscosidade cinemática da água. No entanto, no interior dos gotejadores, existem passagens em forma de labirinto, que são necessárias para diminuir a sensibilidade da vazão, em função da mudança de temperatura.

O CUC diminuiu gradativamente, de 98,38% para 95,36%, permanecendo no intervalo considerado como satisfatório, conforme sugerido por Christiansen (1942). Esse índice de uniformidade decresceu menos em função do tempo de avaliação e, com isso, conclui-se que é o menos sensível a mudanças de vazão dos emissores para sistemas de irrigação localizada.

Para cálculo do índice do coeficiente de uniformidade UE, adotou-se um Cvf de 2,59%, a uma pressão de 2,5 mca e 2 emissores por planta. Então, foram observados valores de UE que variaram de 95,40% a 85,15% para gotejadores após 10 e 90 dias de uso, respectivamente. Esse fato é justificado por esse coeficiente de uniformidade levar em consideração as causas construtivas e o número de emissores por planta, sendo mais sensível à mudança de vazão dos emissores. Segundo a ASAE (1993), os valores de UE permaneceram dentro de limites considerados satisfatórios, segundo as condições experimentais.

O coeficiente UD apresentou decréscimo contínuo em função do tempo de uso, variando de 99,00% a 90,24% para emissores após 10 e 90 dias de uso, respectivamente. Então, os kits irrigação apresentaram um índice de uniformidade classificado como excelente, conforme Keller & Karmelli (1974).

A maior variação de uniformidade para os índices estudados foi notada no 1º kit, o qual estava em uma área mais ondulada ou com maiores diferenças de nível. Assim, as linhas laterais estão em uma cota que varia de 49,6 m a 50,1 m, representando uma variação de pressão de 0,50 metros.

Pelas condições experimentais, provavelmente, a mudança na uniformidade de aplicação de água durante os 90 dias de teste foi devido ao desgaste físico dos emissores, resultante da irrigação freqüente e uso de produtos químicos dosados semanalmente via fertirrigação.

Durante o período experimental, notaram-se poucos casos de entupimento parcial. Com a aplicação da solução de cloro a 20 mg L^{-1} , administrada nos dois reservatórios aos 55 dias de operação do sistema, foram notadas algumas melhoras nesses emissores, principalmente no índice UE que aumentou gradativamente, mas, em pouco tempo, voltou aos valores anteriores à aplicação de cloro.

Importante salientar que a água de irrigação foi considerada como de boa qualidade, conforme avaliação feita pelo Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia da UFLA, no dia 26 de dezembro de 2005, completando um período de 57 dias de irrigação. Por meio desta análise, a água de irrigação obteve como resultado: condutividade elétrica (CE) de $0,17 \text{ dS m}^{-1}$, não apresentando restrição para o uso da fertirrigação, segundo Folegatti (2001); pH de 7,8, classificado como de médio risco ao entupimento por Bucks et al. (1979); concentração de sólidos suspensos igual a 13 mg L^{-1} e sólidos dissolvidos 145 mg L^{-1} , ambos de baixo risco ao entupimento, segundo classificação recomendada pelo mesmo autor.

4.6 Avaliação da distribuição espacial da fertirrigação

O tomateiro necessita de uma grande quantidade de nutrientes para seu desenvolvimento e, por isso, os nutrientes foram utilizados via água de irrigação. Assim, avaliou-se a condutividade elétrica corrigida para a temperatura de 25°C da água de irrigação contendo MAP, uréia e KNO_3 , dados (Tabela 10) e um produto à base de micronutrientes, fósforo e nitrogênio (Tabela 11).

TABELA 10 Condutividade elétrica corrigida da água de irrigação para a solução de uréia, MAP e KNO₃

Lateral	1° kit		Lateral	3° kit	
	Amostra	CE _c (dS m ⁻¹)		Amostra	CE _c (dS m ⁻¹)
1	1	1,90	1	33	1,84
	2	1,85		34	1,82
	3	1,85		35	1,84
	4	1,83		36	1,80
3	5	1,89	3	37	1,87
	6	1,87		38	1,82
	7	1,87		39	1,82
	8	1,86		40	1,80
5	9	1,91	5	41	1,89
	10	1,85		42	1,88
	11	1,87		43	1,87
	12	1,83		44	1,86
7	13	1,87	7	45	1,91
	14	1,87		46	1,90
	15	1,84		47	1,86
	16	1,84		48	1,84
Lateral	2° kit		Lateral	4° kit	
	Amostra	CE _c (dS m ⁻¹)		Amostra	CE _c (dS m ⁻¹)
1	17	1,85	1	49	1,88
	18	1,85		50	1,88
	19	1,85		51	1,87
	20	1,82		52	1,84
3	21	1,85	3	53	1,87
	22	1,82		54	1,87
	23	1,82		55	1,87
	24	1,81		56	1,80
5	25	1,83	5	57	1,87
	26	1,82		58	1,87
	27	1,82		59	1,86
	28	1,81		60	1,85
7	29	1,89	7	61	1,87
	30	1,86		62	1,81
	31	1,86		63	1,82
	32	1,85		64	1,80

TABELA 11 Condutividade elétrica corrigida CE_c da água de irrigação para a solução de micronutrientes, fósforo e nitrogênio.

Lateral	1° kit		Lateral	3° kit	
	Amostra	CE_c (dS m ⁻¹)		Amostra	CE_c (dS m ⁻¹)
1	1	0,47	1	33	0,47
	2	0,47		34	0,47
	3	0,48		35	0,47
	4	0,46		36	0,47
3	5	0,48	3	37	0,47
	6	0,47		38	0,47
	7	0,47		39	0,46
	8	0,47		40	0,47
5	9	0,48	5	41	0,47
	10	0,47		42	0,47
	11	0,47		43	0,47
	12	0,47		44	0,47
7	13	0,48	7	45	0,48
	14	0,47		46	0,48
	15	0,48		47	0,47
	16	0,48		48	0,47
Lateral	2° kit		Lateral	4° kit	
	Amostra	CE_c (dS m ⁻¹)		Amostra	CE_c (dS m ⁻¹)
1	17	0,48	1	49	0,48
	18	0,47		50	0,47
	19	0,48		51	0,48
	20	0,48		52	0,46
3	21	0,48	3	53	0,47
	22	0,48		54	0,47
	23	0,47		55	0,47
	24	0,46		56	0,46
5	25	0,47	5	57	0,47
	26	0,47		58	0,47
	27	0,48		59	0,47
	28	0,45		60	0,46
7	29	0,46	7	61	0,48
	30	0,47		62	0,48
	31	0,48		63	0,47
	32	0,45		64	0,48

Os resultados obtidos demonstram altos valores de condutividade elétrica da água de irrigação, devido à alta concentração de solução de MAP, uréia e KNO_3 , empregada na fertirrigação (2000 mg L^{-1}), muito superior ao valor da solução de micronutrientes, fósforo e nitrogênio (400 mg L^{-1}).

Pelos resultados, nota-se que houve pouca flutuação nos valores da condutividade elétrica corrigida para os dois tipos de produtos analisados. A Figura 17 exibe a dispersão dos dados da solução de MAP, uréia e KNO_3 .

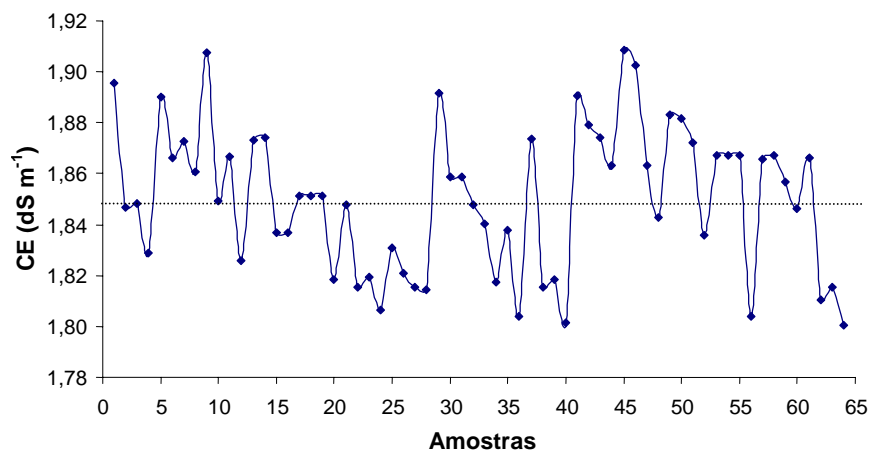


FIGURA 17 Dispersão dos dados da solução de MAP, uréia e KNO_3

Pela Figura 18, nota-se que os valores da condutividade elétrica permaneceram entre $1,80$ e $1,91 \text{ dS m}^{-1}$ para as condições experimentais analisadas.

A dispersão dos dados da solução de micronutrientes, fósforo e nitrogênio é apresentada na Figura 18. Os dados de CEC ficaram no intervalo de $0,45$ a $0,48 \text{ dS m}^{-1}$.

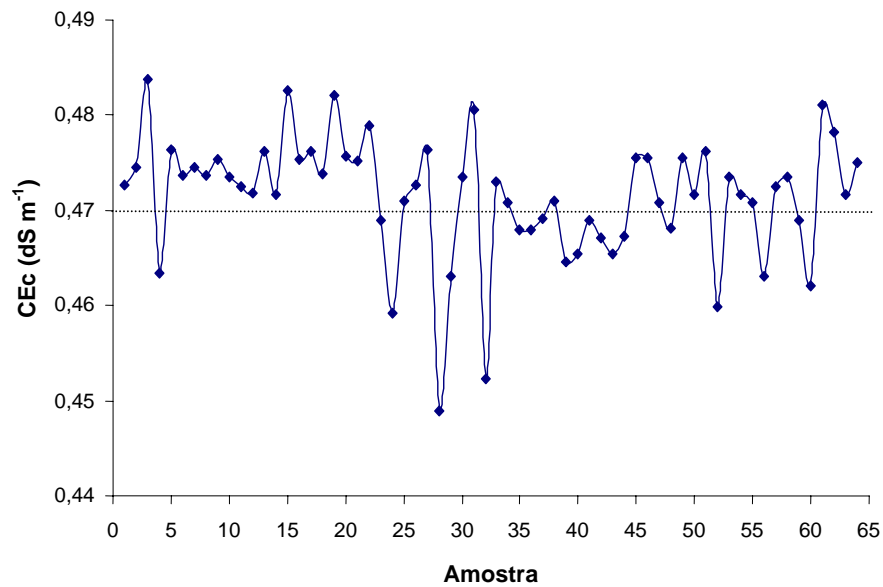


FIGURA 18 Dispersão dos dados da solução de micronutrientes, fósforo e nitrogênio.

Com 16 valores de CE_c para cada kit de irrigação, conforme Tabelas 10 e 11, foram calculados os coeficientes de uniformidade apresentados na Tabela 12.

Percebe-se um baixo coeficiente de variação (menor que 2,07%) para as duas amostras da água de irrigação. Conseqüentemente, os coeficientes de uniformidade foram superiores a 93,96% nos kits analisados, sendo inferiores aos valores obtidos por Alves (1992).

TABELA 12 Coeficientes de variação (CV), Christiansen (CUC), uniformidade de distribuição (UD) e uniformidade de emissão (UE) para as respectivas amostras.

Coeficientes uréia, MAP e KNO₃	Kits			
	1	2	3	4
Média (dS m ⁻¹)	1,86	1,84	1,85	1,85
Desvio (dS m ⁻¹)	0,02	0,02	0,03	0,03
CV (%)	1,29	1,27	1,88	1,52
CUC (%)	98,95	98,50	98,39	98,83
UD (%)	98,39	98,37	97,84	97,83
UE (%)	97,25	96,78	95,65	95,97

Coeficientes Micronutrientes, P e N	Kits			
	1	2	3	4
Média (dS m ⁻¹)	0,47	0,47	0,47	0,47
Desvio (dS m ⁻¹)	0,00	0,01	0,00	0,01
CV (%)	0,95	2,07	0,68	1,30
CUC (%)	99,39	98,54	99,05	98,88
UD (%)	99,02	96,89	99,15	98,10
UE (%)	97,04	93,96	97,27	96,73

Visando à obtenção de uma curva de calibração do produto utilizado na fertirrigação foram empregados valores conhecidos de concentração de adubos e medida a condutividade elétrica da amostra e corrigida para a temperatura de 25°C. Com isso, chegou-se aos valores exibidos na Tabela 13.

TABELA 13 Curva de calibração da condutividade elétrica corrigida (CE_c) e diferentes concentrações de produto

MAP, uréia e KNO_3		Micronutrientes, fósforo e nitrogênio	
Concentração ($mg L^{-1}$)	CE_c ($dS m^{-1}$)	Concentração ($mg L^{-1}$)	CE_c ($dS m^{-1}$)
1000	0,76	100	0,25
1500	1,06	200	0,32
1800	1,71	300	0,36
2000	1,77	400	0,42
3000	2,16	600	0,46
3600	3,04	700	0,57
4000	3,58	800	0,64

Em função de concentrações conhecidas de MAP, uréia e KNO_3 geraram a Equação (18), um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9581. Por essa equação, pode-se estimar a concentração de fertilizante utilizado na amostra em estudo, em ppm, medindo-se a condutividade elétrica e corrigindo para a temperatura de $25^\circ C$.

$$C = 1090,6.CE_c + 220,69 \quad (18)$$

em que:

C = concentração da solução de uréia, MAP e KNO_3 ($mg L^{-1}$).

CE_c = condutividade elétrica corrigida ($dS m^{-1}$) para a temperatura de $25^\circ C$ da solução de MAP, uréia e KNO_3

De maneira similar, para as concentrações conhecidas do adubo líquido constituído principalmente de micronutrientes, fósforo e nitrogênio, gerou-se a Equação (19) e um R^2 de 0,9603. De posse dos valores de CE_c , pode-se estimar a quantidade de fertilizante aplicado.

$$C = 1861,2.CE_c - 362,9 \quad (19)$$

em que:

C = concentração da solução líquida de micronutrientes, fósforo e nitrogênio (mg L^{-1}).

CE_c = condutividade elétrica corrigida (dS m^{-1}) para a temperatura de 25°C da solução líquida de micronutrientes e fósforo.

Estas equações, obtidas experimentalmente, podem ser utilizadas em uma avaliação em campo para estimar a concentração de adubos segundo a condutividade elétrica da solução e temperatura, com o uso de um condutímetro digital e portátil. É um método fácil, rápido e confiável para a obtenção de dados para posterior análise.

5 CONCLUSÕES

Com o objetivo de desenvolver e avaliar um sistema de irrigação por gravidade para pequenas propriedades, conclui-se que:

1. para análise da uniformidade de aplicação de água para kits de irrigação à baixa pressão, recomenda-se o uso do índice uniformidade de emissão por ser considerado um parâmetro mais sensível à variação da vazão dos emissores ao longo do tempo.
2. o tubo gotejador modelo Hydrogol[®] 12/25/1 da Plastro[®] possui uma excelente uniformidade de variação de fabricação, segundo testes feitos à baixa pressão;
3. o kit dimensionado e testado neste estudo pode ser empregado para irrigação, sem prejuízo da uniformidade de aplicação de água e fertilizantes, em conformidade com critérios internacionais para o dimensionamento de sistemas de irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. N. B. **Desempenho da bomba injetora e do tanque de derivação de fluxo na aplicação de cloreto de potássio em microaspersão.** 1992. 72 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

ANTI, G. R. **Doses e frequências de aplicação de nitrogênio e potássio via fertirrigação para tomateiro.** 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ASAE EP 405.1 **Standards, Design and Installation of Microirrigation Systems.** 1993. p.693-696.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Manual de hidráulica.** 8. ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 1998. 669 p.

BARRETO FILHO, A. de A.; DANTAS NETO, J.; MATOS, J. A. de; GOMES, E. M.; Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.309-314, 2000.

BERNUTH, V.; SOLOMON, K. H. Design principles. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation of crop production: design, operation and management.** Elsevier Science, 1986. p. 27-52.

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

BOTREL, T. A. **Hidráulica de microaspersores e de linhas laterais para irrigação localizada.** Piracicaba, 1984. 78 p.

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

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

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling.** Berkeley: Agricultural Experimental Station, 1942. 124 p. (Bulletin, 670).

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A cultura do tomateiro (para mesa)**. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1993. 92 p. (Coleção Plantar, 5).

FARIA, L. F. **Variação de vazão de gotejadores enterrados na irrigação de citros e café**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FAVETTA, G. M. **Avaliação da uniformidade de emissão e da uniformidade estatística em irrigação localizada**. 1993. 52 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FRAUSTO, K. **Developing irrigation options for small farmers**. Institute Development Enterprises, 2000. 42 p. Disponível em: <<http://www.dams.org.br/docs/kbase/contrib/opt153.pdf>> Acesso em: 10 Set. 2005.

FOLEGATTI, M. V. (Coord). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, 336 p.

GILEAD, G. **Simple drip irrigation for developing countries**. 7. ed. Telaviv. Israel: International Conference on Water and Irrigation, 1996.

HILLEL, D. **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, 1982.

HOWELL, T. A.; HILLER, E. A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. **Journal of Irrigation Drainage Division**, New York, v. 100, n. 4, p. 443-454, 1974.

INTERNATIONAL STANDARD – ISO 9260 – **Agricultural irrigation equipment – Emitters – Specification and test methods**. First edition, 1990. 9 p.

KELLER, J.; ADHIKARI, D. L.; PETERSEN, M.R.; SURYAWANSHI, S. **Engineering low-cost micro-irrigation for small plots**. International Development Enterprises, 2001. 25 p. Disponível em: <<http://www.ideorg.org/html/library/library.jsp>>. Acesso em: 10 set. 2005.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora, California: Rain Bird Sprinkle Manufacturing Corporation, 1975.

MACKAY, H. **Low cost micro irrigation technologies for the poor**. Affordable Micro Irrigation Technology Final Report. Department for Infrastructure and Urban Development, 2003. 37 p. Disponível em: <<http://www.itcltd.com/docs/amit%20final%20report.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2005.

MAIA, L. A. F. **Desenvolvimento de um software para auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação localizada**. 1994. 158 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba,

MALDONADO, J. M. A.; COMPARTIDO, F. R. **Irrigation technology for small-scale producers: the case of México**. FIRCO, Secretariat of Agriculture, Livestock, and Rural Development of the Government of Mexico, 2000. 17 p. Disponível em: <[http://inweb18.wordbank.org/essd/irrigation show irrigation technology.doc](http://inweb18.wordbank.org/essd/irrigation%20show%20irrigation%20technology.doc)>. Acesso em: 11 nov. 2005.

MARINHO, A. B.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Avaliação das características hidráulicas do tubo perfurado Santape. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 316-321, 1999.

MELO, L. J. V. de; SILVA, E. L. da; FARIA, M. A. de. Perda de carga em conectores utilizados em sistemas de irrigação localizada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 205-214, dez. 2000. Edição Especial.

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

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Injection of fertilizer and other chemicals for drip irrigation**. Proceeding of the Agricultural Turf. Irrigation Conference, 1980. p. 166-80.

NGIGI, S. N.; WAWERU, J. N.; BLANK, H. G. **Low-cost irrigation for poverty reduction**. International Water Management Institute, 2001. 4 p. Disponível em: <<http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/Areps/2001/theme%202.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2005.

PAPADOPOULOS, I. Constant feeding of field-grown tomatoes irrigated with sulphate water. **Plant and Soil** 88,231-236, 1985.

PARCHOMCHUK, P. **Temperature effects on emitter discharge rates**. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 690-692, 1976.

RAV-ACHA, C.; KUMMEL, M.; SALAMON, I.; ADIN, A. The effect of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. **Water Research**, v. 29, n. 1, p. 119-129, Jan. 1995.

SOLOMON, K. Manufacturing Variation of Trickle emitters. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1043, 1979.

SOLOMON, K.H. Global uniformity of trickle irrigation system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph. v. 28, n. 4, p. 1151-1158, 1985.

SCHMIDT, M. V. V. **Características hidráulicas do tubo-gotejador "QUEEN GIL"**. 1995. 43 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SOUZA, R. O. R. de M. **Modelagem, desenvolvimento de software para dimensionamento, e avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento com microtubos**. 2005. 100 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SIJALI, I. V. **Drip irrigation: options for smallholder farmers in eastern and southern Africa** Technical handbook No. 24 Sida's Regional Land Management Unit, 2001.

TESTEZLAF, R.; CAMPIONI, E. Comportamento hidráulico do tubo gotejador "Queen Gil". **Engenharia Agrícola**, Campinas, v. 13, p. 29-38, 1993.

VIEIRA, A. T. Q. **Caracterização hidráulica de um tubo gotejador**. 1996. 56 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

VIEIRA, D. B. **Engenharia de irrigação**. Limeira: Faculdade de Engenharia de Limeira, 1983. 433 p. Apostila.

ANEXO A

	Página
TABELA 1A Volume coletado, durante 60 minutos, à pressão de entrada na lateral de 0,5 mca e vazão média (Q_m).....	68
TABELA 2A Volume coletado, durante 60 minutos, à pressão de entrada na lateral de 1,0 mca e vazão média (Q_m).....	69
TABELA 3A Volume coletado, durante 60 minutos, à pressão de entrada na lateral de 1,5 mca e vazão média (Q_m).....	70
TABELA 4A Volume coletado, durante 30 minutos, à pressão de entrada na lateral 2,0 mca e vazão média (Q_m)	71
TABELA 5A Volume coletado, durante 30 minutos, à pressão de entrada na lateral de 2,5 mca e vazão média (Q_m).....	72
TABELA 6A Volume coletado durante 30 minutos a pressão de entrada na lateral de 3,0 mca e vazão média (Q_m).....	73
TABELA 7A Volume coletado, durante 30 minutos, à pressão de entrada na lateral de 3,5 mca e vazão média (Q_m).....	74

TABELA 1A Volume coletado, durante 60 minutos, à pressão de entrada na lateral de 0,5 mca e vazão média (Q_m)

Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)
	R1	R2	R3			R1	R2	R3			R1	R2	R3	
1	210	205	210	0,21	21	195	200	195	0,20	41	203	199	194	0,20
2	215	210	215	0,21	22	195	200	195	0,20	42	203	195	200	0,20
3	205	205	210	0,21	23	195	195	198	0,20	43	197	200	195	0,20
4	205	205	205	0,21	24	200	195	205	0,20	44	203	202	202	0,20
5	205	203	203	0,20	25	193	195	195	0,19	45	196	195	196	0,20
6	202	205	205	0,20	26	199	203	195	0,20	46	196	195	200	0,20
7	202	202	202	0,20	27	195	195	200	0,20	47	200	202	196	0,20
8	202	202	202	0,20	28	195	204	195	0,20	48	195	190	191	0,19
9	200	202	205	0,20	29	196	195	200	0,20	49	190	185	190	0,19
10	202	205	202	0,20	30	202	200	202	0,20	50	193	195	193	0,19
11	200	202	205	0,20	31	202	202	202	0,20	51	197	202	202	0,20
12	202	200	202	0,20	32	202	202	202	0,20	52	182	185	185	0,18
13	202	205	202	0,20	33	202	202	202	0,20	53	190	193	190	0,19
14	200	202	203	0,20	34	202	202	202	0,20	54	183	186	185	0,18
15	199	202	202	0,20	35	199	195	195	0,20	55	183	188	189	0,19
16	202	196	202	0,20	36	203	200	200	0,20	56	182	183	186	0,18
17	205	202	203	0,20	37	197	200	201	0,20	57	183	185	184	0,18
18	202	200	202	0,20	38	195	193	195	0,19	58	186	183	186	0,19
19	202	204	202	0,20	39	200	203	207	0,20	59	190	193	189	0,19
20	193	199	200	0,20	40	202	200	204	0,20	60	185	185	185	0,19
Média	(L h ⁻¹)	0,20		CVf	(%)	3,26056								
Desvio	(L h ⁻¹)	0,006452		q25	(L h ⁻¹)	0,19								
				UD	(%)	96,00								

TABELA 2A Volume coletado, durante 60 minutos, à pressão de entrada na lateral de 1,0 mca e vazão média (Q_m)

Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)
	R1	R2	R3			R1	R2	R3			R1	R2	R3	
1	262	270	270	0,27	21	290	290	290	0,29	41	280	276	280	0,28
2	266	270	270	0,27	22	294	294	294	0,29	42	286	280	280	0,28
3	282	280	284	0,28	23	294	294	294	0,29	43	272	280	280	0,28
4	290	282	280	0,28	24	300	296	300	0,30	44	290	290	290	0,29
5	280	280	280	0,28	25	290	290	292	0,29	45	270	270	270	0,27
6	280	280	280	0,28	26	276	282	280	0,28	46	270	270	270	0,27
7	280	280	280	0,28	27	280	286	280	0,28	47	270	272	270	0,27
8	280	280	280	0,28	28	280	280	286	0,28	48	270	274	270	0,27
9	280	280	280	0,28	29	284	280	284	0,28	49	270	270	276	0,27
10	280	280	280	0,28	30	290	290	290	0,29	50	260	262	260	0,26
11	290	290	300	0,29	31	290	300	290	0,29	51	260	260	260	0,26
12	290	290	290	0,29	32	290	292	290	0,29	52	260	270	260	0,26
13	300	292	296	0,30	33	280	286	280	0,28	53	270	270	260	0,27
14	290	292	290	0,29	34	280	282	280	0,28	54	272	262	260	0,26
15	292	304	302	0,30	35	290	294	290	0,29	55	260	260	260	0,26
16	302	292	300	0,30	36	290	296	290	0,29	56	270	270	270	0,27
17	290	300	302	0,30	37	280	280	282	0,28	57	260	260	260	0,26
18	300	300	302	0,30	38	280	280	276	0,28	58	270	270	270	0,27
19	300	306	300	0,30	39	280	276	280	0,28	59	270	272	270	0,27
20	294	300	294	0,30	40	280	280	280	0,28	60	270	268	270	0,27
Média (L h ⁻¹)	0,28			CVf (%)	4,105148									
Desvio (L h ⁻¹)	0,011555			q25 (L h ⁻¹)	0,27									
				UD (%)	95,00									

TABELA 3A Volume coletado, durante 60 minutos, à pressão de entrada na lateral de 1,5 mca e vazão média (Q_m)

Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)
	R1	R2	R3			R1	R2	R3			R1	R2	R3	
1	345	343	345	0,34	21	338	341	343	0,34	41	334	331	330	0,33
2	340	345	340	0,34	22	333	339	338	0,34	42	331	330	325	0,33
3	335	336	345	0,34	23	331	332	330	0,33	43	329	330	328	0,33
4	343	340	343	0,34	24	330	330	330	0,33	44	326	324	325	0,33
5	335	338	335	0,34	25	330	330	330	0,33	45	329	328	330	0,33
6	335	334	335	0,33	26	330	330	330	0,33	46	335	330	336	0,33
7	334	333	334	0,33	27	330	328	330	0,33	47	335	330	331	0,33
8	340	335	340	0,34	28	330	330	327	0,33	48	325	330	325	0,33
9	334	335	334	0,33	29	330	325	330	0,33	49	339	335	334	0,34
10	335	332	334	0,33	30	321	320	325	0,32	50	336	335	332	0,33
11	334	335	331	0,33	31	330	330	330	0,33	51	335	334	331	0,33
12	329	324	325	0,33	32	329	325	329	0,33	52	327	330	330	0,33
13	330	329	325	0,33	33	325	330	325	0,33	53	328	330	329	0,33
14	327	328	326	0,33	34	330	330	330	0,33	54	331	335	326	0,33
15	331	334	332	0,33	35	330	330	330	0,33	55	326	325	331	0,33
16	330	331	330	0,33	36	332	333	330	0,33	56	325	325	331	0,33
17	330	330	329	0,33	37	330	330	330	0,33	57	320	321	320	0,32
18	330	328	330	0,33	38	328	326	324	0,33	58	325	325	330	0,33
19	330	330	330	0,33	39	324	323	325	0,32	59	320	325	320	0,32
20	325	330	330	0,33	40	330	334	330	0,33	60	323	320	325	0,32
Média (L h ⁻¹)	0,33			CVf (%)	1,49									
Desvio (L h ⁻¹)	0,00494			q25 (L h ⁻¹)	0,33									
				UD (%)	99,00									

TABELA 4A Volume coletado, durante 30 minutos, à pressão de entrada na lateral 2,0 mca e vazão média (Q_m)

Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)
	R1	R2	R3			R1	R2	R3			R1	R2	R3	
1	200	205	200	0,40	21	206	205	206	0,41	41	195	200	202	0,40
2	201	200	200	0,40	22	210	210	205	0,42	42	200	196	200	0,40
3	210	215	210	0,42	23	206	200	206	0,41	43	200	200	201	0,40
4	200	204	200	0,40	24	210	210	200	0,41	44	205	205	200	0,41
5	200	195	200	0,40	25	200	195	200	0,40	45	200	195	200	0,40
6	200	200	195	0,40	26	205	205	210	0,41	46	195	195	195	0,39
7	204	205	204	0,41	27	200	195	200	0,40	47	195	195	195	0,39
8	204	200	204	0,41	28	200	200	195	0,40	48	200	195	200	0,40
9	200	204	204	0,41	29	200	200	200	0,40	49	195	191	196	0,39
10	210	215	210	0,42	30	200	195	200	0,40	50	196	196	196	0,39
11	210	210	215	0,42	31	200	200	200	0,40	51	200	201	200	0,40
12	200	205	200	0,40	32	210	210	210	0,42	52	200	200	201	0,40
13	205	200	200	0,40	33	200	200	200	0,40	53	200	195	200	0,40
14	210	205	210	0,42	34	200	200	200	0,40	54	200	195	195	0,39
15	210	205	210	0,42	35	200	195	200	0,40	55	195	200	200	0,40
16	210	210	205	0,42	36	200	200	200	0,40	56	195	191	191	0,38
17	200	195	200	0,40	37	200	196	201	0,40	57	195	195	195	0,39
18	200	205	205	0,41	38	200	200	200	0,40	58	190	191	190	0,38
19	200	200	201	0,40	39	200	200	200	0,40	59	190	192	190	0,38
20	210	210	210	0,42	40	200	205	200	0,40	60	190	191	190	0,38
Média	(L h ⁻¹)	0,40			CVf	(%)	2,56							
Desvio	(L h ⁻¹)	0,010282			q25	(L h ⁻¹)	0,39							
					UD	(%)	97,00							

TABELA 6A Volume coletado durante 30 minutos a pressão de entrada na lateral de 3,0 mca e vazão média (Q_m)

Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)
	R1	R2	R3			R1	R2	R3			R1	R2	R3	
1	245	246	247	0,49	21	241	240	243	0,48	41	239	236	239	0,48
2	241	243	241	0,48	22	240	241	240	0,48	42	231	236	235	0,47
3	245	245	246	0,49	23	235	235	236	0,47	43	232	235	235	0,47
4	247	245	241	0,49	24	240	235	240	0,48	44	235	239	239	0,48
5	240	239	236	0,48	25	239	236	239	0,48	45	235	236	235	0,47
6	236	239	240	0,48	26	230	235	235	0,47	46	236	239	238	0,48
7	246	245	250	0,49	27	241	240	236	0,48	47	235	235	236	0,47
8	245	244	246	0,49	28	236	239	239	0,48	48	239	238	239	0,48
9	245	246	246	0,49	29	237	240	235	0,47	49	231	230	230	0,46
10	245	245	245	0,49	30	241	239	243	0,48	50	230	231	230	0,46
11	240	240	240	0,48	31	239	241	236	0,48	51	233	236	238	0,47
12	235	235	240	0,47	32	233	231	235	0,47	52	230	230	230	0,46
13	245	245	245	0,49	33	239	239	239	0,48	53	230	233	230	0,46
14	245	246	243	0,49	34	241	243	245	0,49	54	235	232	231	0,47
15	243	240	240	0,48	35	235	235	235	0,47	55	225	229	225	0,45
16	245	246	245	0,49	36	236	235	235	0,47	56	230	225	226	0,45
17	240	236	240	0,48	37	236	242	239	0,48	57	230	228	226	0,46
18	245	241	245	0,49	38	239	240	239	0,48	58	235	232	231	0,47
19	240	240	240	0,48	39	239	238	231	0,47	59	230	228	230	0,46
20	235	236	238	0,47	40	238	241	236	0,48	60	227	230	227	0,46
Média (L h ⁻¹)	0,48			CVf (%)	2,20									
Desvio (L h ⁻¹)	0,01043			q25 (L h ⁻¹)	0,46									
				UD (%)	98,00									

TABELA 7A Volume coletado, durante 30 minutos, à pressão de entrada na lateral de 3,5 mca e vazão média (Q_m)

Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)	Saída	Repetições (m L)			Q_m (L h ⁻¹)
	R1	R2	R3			R1	R2	R3			R1	R2	R3	
1	265	264	265	0,53	21	265	265	265	0,53	41	260	261	260	0,52
2	269	271	273	0,54	22	265	265	265	0,53	42	263	260	260	0,52
3	269	269	270	0,54	23	265	265	265	0,53	43	255	261	263	0,52
4	274	271	274	0,55	24	265	265	265	0,53	44	255	259	259	0,52
5	269	270	268	0,54	25	265	265	265	0,53	45	254	256	257	0,51
6	270	269	267	0,54	26	265	265	265	0,53	46	255	258	258	0,51
7	271	265	266	0,53	27	260	260	260	0,52	47	256	255	256	0,51
8	270	265	270	0,54	28	260	260	260	0,52	48	255	256	255	0,51
9	269	268	265	0,53	29	260	265	260	0,52	49	255	256	255	0,51
10	265	265	265	0,53	30	263	260	260	0,52	50	255	254	256	0,51
11	265	264	264	0,53	31	260	260	261	0,52	51	255	254	255	0,51
12	266	265	265	0,53	32	260	263	260	0,52	52	255	255	257	0,51
13	263	260	265	0,53	33	260	260	264	0,52	53	255	259	255	0,51
14	265	260	265	0,53	34	260	259	260	0,52	54	255	255	254	0,51
15	265	265	265	0,53	35	255	260	260	0,52	55	254	255	253	0,51
16	265	265	265	0,53	36	260	254	260	0,52	56	255	253	255	0,51
17	265	265	265	0,53	37	260	260	256	0,52	57	254	255	255	0,51
18	261	263	265	0,53	38	260	260	260	0,52	58	255	251	251	0,50
19	265	265	265	0,53	39	260	259	260	0,52	59	251	253	250	0,50
20	261	265	265	0,53	40	258	257	255	0,51	60	254	250	250	0,50
Média (L h ⁻¹)	0,52			CVf (%)	1,98									
Desvio (L h ⁻¹)	0,0103			q25 (L h ⁻¹)	0,51									
				UD (%)	98,00									

ANEXO B

	Página
TABELA 1B Vazão do emissor (q_e), por posição na lateral, temperatura inicial (T_i) e final (T_f) da linha lateral (LL) obtidas em campo para o 1° e 2° kits.....	76
TABELA 2B Vazão do emissor (q_e), por posição na lateral, temperatura inicial (T_i) e final (T_f) da linha lateral (LL) obtidas em campo para o 3° e 4° kits.....	77
TABELA 3B Vazão do emissor (q_e), por posição na lateral, temperatura inicial (T_i) e final (T_f) da linha lateral (LL) obtidas em campo para o 5° e 6° kits.....	78
TABELA 4B Vazão do emissor (q_e), por posição na lateral, temperatura inicial (T_i) e final (T_f) da linha lateral (LL) obtidas em campo para o 7° e 8° kits.....	79

TABELA 1B Vazão do emissor (q_e), por posição na lateral, temperatura inicial (T_i) e final (T_f) da linha lateral (LL) obtidas em campo para o 1° e 2° kits

Avaliações	1° kit							2° kit						
	LL	q_e (L h ⁻¹)				Temperaturas		LL	q_e (L h ⁻¹)				Temperaturas	
		Início	1/3	2/3	Final	T_i °C	T_F °C		Início	1/3	2/3	Final	T_i °C	T_F °C
Primeira	1	0,44	0,44	0,42	0,42	25,0	25,5	1	0,44	0,44	0,42	0,41	23,0	24,0
	3	0,44	0,43	0,42	0,42	25,0	27,0	3	0,44	0,44	0,42	0,41	25,0	25,5
	5	0,43	0,42	0,42	0,42	26,0	25,0	5	0,43	0,42	0,42	0,41	25,0	25,5
	7	0,42	0,42	0,42	0,42	27,0	29,0	7	0,43	0,42	0,43	0,41	25,0	27,0
Segunda	1	0,44	0,44	0,42	0,42	22,0	23,5	1	0,44	0,44	0,42	0,40	22,0	23,0
	3	0,44	0,42	0,42	0,42	23,0	23,5	3	0,44	0,42	0,42	0,40	23,0	24,0
	5	0,42	0,42	0,42	0,40	23,0	23,5	5	0,42	0,42	0,42	0,40	25,0	25,5
	7	0,42	0,42	0,42	0,40	23,0	23,5	7	0,42	0,42	0,42	0,40	22,0	22,5
Terceira	1	0,44	0,42	0,42	0,40	26,0	27,0	1	0,44	0,42	0,42	0,40	24,0	26,0
	3	0,44	0,42	0,42	0,40	26,0	28,0	3	0,44	0,42	0,40	0,38	24,0	25,0
	5	0,44	0,42	0,42	0,38	25,0	27,0	5	0,44	0,42	0,40	0,40	24,0	27,5
	7	0,42	0,42	0,40	0,38	24,0	26,0	7	0,42	0,42	0,42	0,40	23,5	26,0
Quarta	1	0,44	0,42	0,42	0,38	29,0	30,0	1	0,44	0,42	0,42	0,38	31,0	30,0
	3	0,44	0,42	0,40	0,38	31,0	34,0	3	0,44	0,42	0,40	0,38	30,0	34,0
	5	0,44	0,42	0,42	0,38	32,0	34,0	5	0,44	0,42	0,42	0,38	33,0	35,5
	7	0,42	0,42	0,42	0,38	32,0	32,0	7	0,42	0,42	0,42	0,38	31,0	31,0
Quinta	1	0,44	0,42	0,40	0,40	28,0	29,0	1	0,42	0,44	0,42	0,40	28,0	28,5
	3	0,44	0,42	0,38	0,36	30,0	31,5	3	0,42	0,42	0,38	0,40	29,0	29,0
	5	0,42	0,42	0,40	0,38	29,0	29,0	5	0,42	0,42	0,40	0,36	29,5	30,0
	7	0,42	0,42	0,40	0,36	31,0	32,5	7	0,42	0,42	0,38	0,38	29,0	30,0

TABELA 2B Vazão do emissor (q_e), por posição na lateral, temperatura inicial (T_i) e final (T_f) da linha lateral (LL) obtidas em campo para o 3° e 4° kits

Avaliações	3° kit							4° kit						
	LL	q_e (L h ⁻¹)				Temperaturas		LL	q_e (L h ⁻¹)				Temperaturas	
		Início	1/3	2/3	Final	T_i °C	T_F °C		Início	1/3	2/3	Final	T_i °C	T_F °C
Primeira	1	0,44	0,44	0,44	0,42	23,0	24,0	1	0,45	0,45	0,44	0,42	24,0	25,5
	3	0,44	0,44	0,44	0,42	21,0	22,5	3	0,44	0,44	0,42	0,42	24,0	24,5
	5	0,44	0,44	0,43	0,42	22,0	22,5	5	0,44	0,44	0,42	0,42	21,0	22,0
	7	0,44	0,44	0,42	0,42	23,0	24,0	7	0,43	0,43	0,43	0,42	22,0	23,5
Segunda	1	0,44	0,44	0,42	0,42	24,0	25,0	1	0,44	0,42	0,42	0,40	23,0	25,0
	3	0,44	0,42	0,4	0,40	24,0	26,0	3	0,44	0,42	0,40	0,40	24,0	25,5
	5	0,44	0,42	0,42	0,40	20,0	20,0	5	0,43	0,42	0,40	0,40	20,0	20,0
	7	0,44	0,42	0,42	0,40	20,0	20,0	7	0,43	0,42	0,42	0,40	19,0	19,0
Terceira	1	0,44	0,44	0,44	0,40	23,0	25,0	1	0,44	0,42	0,42	0,40	25,0	25,0
	3	0,42	0,44	0,42	0,40	26,0	27,0	3	0,44	0,42	0,42	0,40	24,0	25,0
	5	0,42	0,42	0,42	0,38	25,0	26,0	5	0,42	0,42	0,40	0,38	25,0	26,0
	7	0,42	0,42	0,40	0,38	25,0	27,0	7	0,42	0,42	0,40	0,38	25,0	27,0
Quarta	1	0,44	0,42	0,42	0,38	30,0	31,0	1	0,44	0,42	0,42	0,38	29,0	31,0
	3	0,44	0,42	0,42	0,40	31,0	32,0	3	0,42	0,42	0,42	0,40	30,0	35,0
	5	0,44	0,42	0,42	0,38	32,0	34,0	5	0,42	0,42	0,40	0,38	30,5	34,0
	7	0,42	0,42	0,40	0,38	31,0	34,0	7	0,42	0,42	0,40	0,36	32,0	34,0
Quinta	1	0,44	0,42	0,38	0,36	27,0	28,0	1	0,44	0,42	0,40	0,36	28,0	28,5
	3	0,42	0,40	0,40	0,40	28,0	29,0	3	0,42	0,40	0,38	0,38	29,0	30,0
	5	0,42	0,42	0,40	0,36	29,0	29,5	5	0,42	0,40	0,40	0,38	29,0	29,5
	7	0,42	0,42	0,40	0,40	28,0	29,0	7	0,42	0,40	0,40	0,36	30,0	31,0

TABELA 3B Vazão do emissor (q_e), por posição na lateral, temperatura inicial (T_i) e final (T_f) da linha lateral (LL) obtidas em campo para o 5° e 6° kits

Avaliações	5° kit							6° kit						
	LL	q_e (L h ⁻¹)				Temperaturas		LL	q_e (L h ⁻¹)				Temperaturas	
		Início	1/3	2/3	Final	T_i °C	T_F °C		Início	1/3	2/3	Final	T_i °C	T_F °C
Primeira	1	0,42	0,42	0,40	0,40	20,0	21,5	1	0,42	0,42	0,40	0,40	21,0	21,5
	3	0,42	0,40	0,40	0,38	21,0	22,5	3	0,42	0,40	0,40	0,38	21,0	22,0
	5	0,42	0,40	0,40	0,40	21,0	22,5	5	0,42	0,40	0,40	0,38	21,0	23,5
	7	0,42	0,40	0,40	0,38	22,0	23,5	7	0,40	0,40	0,38	0,38	22,0	23,0
Segunda	1	0,42	0,42	0,40	0,38	21,0	22,0	1	0,42	0,40	0,40	0,38	21,0	22,0
	3	0,42	0,40	0,40	0,38	20,0	21,0	3	0,42	0,42	0,40	0,38	20,0	21,0
	5	0,42	0,40	0,38	0,38	20,0	21,0	5	0,42	0,40	0,38	0,38	20,0	21,0
	7	0,40	0,40	0,40	0,40	20,0	21,0	7	0,40	0,40	0,38	0,38	20,0	21,0
Terceira	1	0,42	0,40	0,40	0,40	25,0	26,0	1	0,42	0,40	0,40	0,38	27,0	28,0
	3	0,42	0,42	0,40	0,38	25,5	27,0	3	0,42	0,40	0,40	0,38	28,0	29,0
	5	0,42	0,40	0,40	0,38	27,0	27,5	5	0,40	0,40	0,38	0,36	26,0	29,0
	7	0,40	0,40	0,38	0,38	28,0	29,0	7	0,40	0,40	0,38	0,38	27,0	29,0
Quarta	1	0,42	0,40	0,40	0,38	29,0	30,0	1	0,42	0,40	0,38	0,38	29,0	31,0
	3	0,42	0,42	0,40	0,36	30,0	30,5	3	0,40	0,40	0,38	0,36	29,5	31,0
	5	0,40	0,40	0,40	0,36	30,0	32,5	5	0,40	0,40	0,38	0,38	30,0	32,0
	7	0,40	0,40	0,38	0,38	30,0	33,0	7	0,40	0,40	0,38	0,36	31,0	33,0
Quinta	1	0,42	0,40	0,40	0,36	29,0	30,0	1	0,42	0,38	0,38	0,36	28,0	28,5
	3	0,40	0,40	0,40	0,36	28,0	29,5	3	0,40	0,4	0,38	0,36	29,0	29,0
	5	0,40	0,40	0,38	0,36	29,0	30,0	5	0,40	0,38	0,36	0,34	30,0	30,5
	7	0,40	0,40	0,38	0,34	29,5	30,5	7	0,40	0,38	0,38	0,36	31,0	31,0

TABELA 4B Vazão do emissor (q_e), por posição na lateral, temperatura inicial (T_i) e final (T_f) da linha lateral (LL) obtidas em campo para o 7° e 8° kits

Avaliações	7° kit							8° kit						
	LL	q_e (L h ⁻¹)				Temperaturas		LL	q_e (L h ⁻¹)				Temperaturas	
		Início	1/3	2/3	Final	T_i °C	T_F °C		Início	1/3	2/3	Final	T_i °C	T_F °C
Primeira	1	0,41	0,40	0,40	0,40	21,0	21,5	1	0,42	0,40	0,40	0,38	23,0	23,5
	3	0,41	0,41	0,40	0,40	22,0	22,5	3	0,42	0,40	0,40	0,40	24,0	24,5
	5	0,41	0,40	0,40	0,40	23,0	23,5	5	0,42	0,40	0,40	0,38	23,0	24,0
	7	0,40	0,40	0,40	0,38	23,5	24,5	7	0,40	0,40	0,38	0,38	23,5	25,0
Segunda	1	0,42	0,40	0,40	0,40	21,0	21,0	1	0,42	0,40	0,40	0,40	22,0	22,0
	3	0,42	0,40	0,40	0,38	21,0	21,0	3	0,40	0,40	0,40	0,38	21,0	22,0
	5	0,40	0,40	0,40	0,36	23,0	24,0	5	0,40	0,40	0,38	0,38	21,0	22,0
	7	0,40	0,40	0,38	0,38	20,0	20,0	7	0,40	0,40	0,40	0,36	24,0	25,0
Terceira	1	0,42	0,40	0,40	0,40	30,0	30,5	1	0,42	0,40	0,40	0,38	29,5	30,0
	3	0,40	0,40	0,40	0,38	30,5	31,0	3	0,40	0,40	0,40	0,36	30,0	31,0
	5	0,40	0,40	0,40	0,36	32,0	32,5	5	0,40	0,40	0,38	0,38	31,0	32,0
	7	0,40	0,40	0,38	0,36	31,5	33,0	7	0,40	0,40	0,38	0,36	32,5	34,0
Quarta	1	0,40	0,40	0,38	0,38	30,0	31,0	1	0,42	0,40	0,40	0,36	31,0	32,5
	3	0,40	0,38	0,38	0,36	34,0	35,0	3	0,40	0,40	0,38	0,38	35,0	35,5
	5	0,40	0,40	0,36	0,36	31,0	32,0	5	0,40	0,40	0,38	0,36	31,0	32,0
	7	0,40	0,40	0,38	0,36	35,0	35,0	7	0,40	0,40	0,38	0,36	34,0	34,0
Quinta	1	0,40	0,40	0,38	0,38	29,0	30,5	1	0,42	0,40	0,38	0,36	28,0	28,5
	3	0,40	0,38	0,38	0,34	30,0	30,5	3	0,40	0,38	0,38	0,38	28,5	29,0
	5	0,40	0,40	0,36	0,36	29,0	30,0	5	0,40	0,40	0,38	0,34	29,0	30,0
	7	0,40	0,38	0,38	0,36	29,5	31,0	7	0,40	0,40	0,38	0,34	29,0	30,0

