

**MODELAGEM, DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA
DIMENSIONAMENTO, E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM MICROTUBOS**

RODRIGO OTÁVIO RODRIGUES DE MELO SOUZA

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Doutor em
Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e
Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**MODELAGEM, DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA
DIMENSIONAMENTO, E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
POR GOTEJAMENTO COM MICROTUBOS**

RODRIGO OTÁVIO RODRIGUES DE MELO SOUZA
ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Orientador: Prof. Dr. **TARLEI ARRIEL BOTREL**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
“Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de
Concentração: Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 2005

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Souza, Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo

Modelagem, desenvolvimento de software para dimensionamento, e avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento com microtubos / Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza. - - Piracicaba, 2005.

100 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
Bibliografia.

1. Custo econômico 2. Gotejador 3. Hidráulica aplicada – Simulação 4. Irrigação localizada 5. Modelo matemático 6. Software I. Título

CDD 631.7

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICO

À minha querida esposa, Joanne

À minha querida filha, Mariana

OFEREÇO

Aos meus pais, Nadyr e Jonas

Aos meus irmãos, Newton, Luís, Pedro, Matheus, Clarissa e Clair

À minha vó e madrinha, Tita

AGRADECIMENTOS

A Deus pela fé e esperança.

À meus pais pelos esforços, compreensão e apoio na formação moral e intelectual dos seus filhos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), através do Departamento de Engenharia Rural, pelo apoio dispensado e acolhimento.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel, pelos ensinamentos oferecidos, pela orientação, amizade e incentivo.

À Fazenda Raio de Sol pela parceria durante a realização do trabalho.

Aos professores e colegas do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, que contribuíram em minha formação científica e moral.

Ao colega Felipe Pérez pelo valioso apoio no desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas de sala, Denis, Miguel, Rogério, Olívio, Walter, Ruben e Tadeu pelos ensinamentos, ajuda e amizade.

Aos funcionários do DER-ESALQ/USP, Davilmar, Sandra, César, Hélio, Antônio, Gilmar e Osvaldo, pelo apoio e atenção.

Aos colegas Rafael e Ilana pelo companheirismo e amizade.

À Joanne Moraes de Melo Souza, pelo carinho, companhia, incentivo e apoio em todos os momentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
SUMMARY	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Microtubos	4
2.2 Hidráulica de microtubos	6
2.3 Hidráulica de linhas laterais	9
2.4 Avaliação de sistemas de irrigação	12
2.5 Informática na agricultura	14
2.6 Modelagem na irrigação.....	15
3 MODELAGEM PARA O DIMENSIONAMENTO DE MICROTUBOS EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA	18
Resumo.....	18
Summary	19
3.1 Introdução	19
3.2 Material e métodos.....	20
3.3 Resultados e discussão	28
3.3.1 Ensaios de laboratório	28
3.3.2 Modelo proposto	33
3.4 Conclusões	40
4 SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE MICROTUBOS	42
Resumo.....	42

Summary	42
4.1 Introdução	43
4.2 Material e métodos	44
4.3 Resultados e discussão	47
4.4 Conclusões	53
5 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR GRAVIDADE COM MICROTUBOS	54
Resumo.....	54
Summary	55
5.1 Introdução	55
5.2 Material e métodos	56
5.2.1 Dimensionamento	57
5.2.2 Implantação e condução.....	58
5.2.3 Avaliação hidráulica	61
5.2.4 Avaliação da produção.....	63
5.2.5 Custos.....	63
5.3 Resultados e discussão	63
5.3.1 Custos.....	68
5.4 Conclusões	70
6 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA COM MICROTUBOS EM UM POMAR DE CITROS.....	72
Resumo.....	72
Summary	72
6.1 Introdução	73
6.2 Material e métodos	75
6.2.1 Levantamento topográfico	76
6.2.2 Dimensionamento hidráulico do sistema	76
6.2.2.1 Linha de derivação	77
6.2.2.2 Linha lateral e microtubos.....	77
6.2.3 Montagem do sistema	78
6.2.4 Avaliação hidráulica	79

6.2.5 Influência da temperatura da água	80
6.2.6 Custos	80
6.3 Resultados e discussão	81
6.3.1 Influência da temperatura da água	83
6.3.2 Custos	85
6.4 Conclusões	86
7 CONCLUSÕES GERAIS	88
ANEXOS	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

MODELAGEM, DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO, E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM MICROTUBOS

Autor: RODRIGO OTÁVIO RODRIGUES DE MELO SOUZA

Orientador: Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

RESUMO

A utilização de microtubos vem crescendo especialmente em países pobres da Ásia e África, onde organizações internacionais lutam pelo desenvolvimento dos pequenos agricultores por meio da implantação de tecnologias de baixo custo. Dentro desse contexto e com o intuito de oferecer embasamento técnico-científico para o desenvolvimento de uma irrigação de baixo custo e alto nível tecnológico, este trabalho teve como objetivos: desenvolver um modelo matemático para dimensionamento de microtubos em que a perda de carga localizada, a perda de carga no microtubo e a energia de velocidade estivessem explícitos na equação; desenvolver um software para dimensionamento de microtubos, com base no modelo proposto; apresentar os custos e verificar a viabilidade técnica da utilização de microtubos em duas condições de campo: irrigação localizada por gravidade para hortas e irrigação pressurizada para pomares; e realizar simulações hidráulicas para verificar a influência da temperatura no desempenho hidráulico do sistema com microtubos. O modelo matemático que considerou constante o coeficiente K da equação de perda carga localizada pode ser utilizado para representar o fenômeno de perda de energia no microtubo, o mesmo representou melhor este fenômeno do que o modelo que não considera a perda de carga localizada, portanto a

perda de carga localizada é um fator que deve ser considerado. O software para o dimensionamento de linhas laterais com microtubos proporcionou precisão e rapidez nos cálculos. Em condição de campo o sistema de irrigação com microtubos apresentou bom desempenho técnico. A proposta de utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos por gravidade demonstrou possuir também vantagens econômicas, devido ao baixo custo de investimento, mão-de-obra e operação do sistema. A proposta de utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos em pomares apresentou uma redução de 45,7% no custo com linhas laterais e emissores em comparação com tubos-gotejadores. Dentro das condições estudadas, a vazão média foi o parâmetro que sofreu a maior influência com a variação de temperatura. A cada 5°C de aumento na temperatura da água, a vazão média aumentou em 5%, já a Uniformidade de Distribuição de água sofreu um efeito reduzido, visto que um aumento de 5°C reduziu em apenas 1,2% o seu valor.

MODELING, DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DESIGNING, AND EVALUATION OF DRIP IRRIGATION SYSTEMS WITH MICROTUBES

Author: RODRIGO OTÁVIO RODRIGUES DE MELO SOUZA

Adviser: Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

SUMMARY

The use of microtubes has been increasing especially in poor countries of Asia and Africa, where international organizations struggle for the development of small farmers through the insertion of low cost technologies. Within this context and with the intention of offering technical and scientific background for the development of a low cost and high technological level irrigation, this work presented the following goals: to develop a mathematical model for microtubes design in which the localized head loss, the head loss in the microtube and the velocity head are clear in the math equation; to develop a software for microtubes design based on the proposed model; to present the costs and to verify the technical viability of the use of microtubes in two field conditions: gravity drip irrigation for vegetable gardens and pressured irrigation for orchards; and to perform hydraulic simulations to verify the temperature influence in the hydraulic performance of the systems with microtubes. The mathematical model, that considered constant the K coefficient of the localized head loss equation, can be used to represent the phenomenon of the power loss in the microtube; it represented this phenomenon better than the model that does not consider the localized head loss, therefore the localized head loss needs to be consider in the phenomenon. The software for the laterals design with microtubes provided precision and swiftness. In the field

condition the irrigation system with microtubes showed good technical performance. The proposition for the use of the gravity drip irrigation system with microtubes also showed economical advantages due to the low investment cost, labor and system operation. The proposition for the use of drip irrigation with microtubes in orchards showed a cost reduction of 45.7% with laterals and emitters compared to in line emitters. In the analyzed conditions, temperature variation influenced the average discharge rate of the system. With 5°C of increase in the water temperature, the average discharge increased in 5%, but temperature variation had little influence in water distribution uniformity, because an increase of 5°C reduced only 1,2% in your value.

1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma técnica importante para o desenvolvimento qualitativo e quantitativo da produção agrícola. Nos países em desenvolvimento existe um grande potencial para o desenvolvimento desta técnica. Entretanto, no Brasil assim como em outros países, existe uma dependência de produtos importados, principalmente na irrigação localizada.

Por essa razão, nota-se nesses países o aumento no interesse pelo desenvolvimento de técnicas que possam minimizar os custos destes equipamentos, e, conseqüentemente, diminuir essa dependência. O microtubo é uma destas alternativas, justamente por ser um equipamento de baixo custo.

A utilização de microtubos vem crescendo especialmente em países pobres da Ásia e África, onde organizações internacionais lutam pelo desenvolvimento dos pequenos agricultores por meio da implantação de tecnologias de baixo custo. Instituições, como International Development Enterprises (IDE) e Intermediate Technology Consultants (ITC), promovem na Índia e no Zimbábue a utilização da irrigação por microtubos com alimentação por gravidade. Pequenos “Kits” com linhas laterais, microtubos e baldes são utilizados como ferramentas que proporcionam o desenvolvimento da população pobre no meio rural (Mackay, 2003).

No Brasil existe um grande potencial para o desenvolvimento desta técnica e para isto é necessário estudar as suas restrições técnicas, operacionais e econômicas. Um entrave técnico para o desenvolvimento dessa tecnologia, além da sensibilidade ao entupimento e à variação da temperatura da água, é a necessidade de um projeto criterioso e detalhado, de forma que a vazão do microtubo seja estimada com precisão.

Outra dificuldade na elaboração de projetos com microtubos é a atribuição de seu diâmetro para dimensionamento. Em virtude dos pequenos diâmetros, qualquer erro na sua atribuição pode provocar variação na estimativa da vazão. Mesmo que o projetista utilize uma equação empírica desenvolvida em um criterioso trabalho científico, não é garantido que esta equação estimará com precisão a vazão do microtubo. O diâmetro fornecido pelo fabricante pode não representar com precisão o diâmetro real. Mesmo com essas dificuldades, Pizarro Cabello (1987) comenta que na Espanha os microtubos se tornaram populares pelo seu baixo custo e por uma peculiaridade interessante: o agricultor pode uniformizar as vazões, mesmo o sistema estando instalado, cortando os emissores no comprimento que se mostre adequado.

O mesmo autor recomenda que as características dos microtubos sejam determinadas experimentalmente. Para a correta representação dessas características é importante a utilização de um modelo representativo do fenômeno de perda de energia no microtubo, coerente com os fundamentos básicos da hidráulica.

Para que a vazão do microtubo seja estimada com precisão é necessário que se utilize uma equação que correlacione vazão, comprimento, pressão na entrada do microtubo e diâmetro. Existe na literatura equações empíricas que expressam essa relação, porém, para um maior entendimento do fenômeno de perda de energia no microtubo é importante a utilização de uma equação que discrimine fatores importantes como perda de carga localizada (H_{floc}), perda de carga no microtubo (H_{ftubo}) e energia de velocidade (E_v).

Para o desenvolvimento de uma equação que represente o fenômeno de perda de energia no microtubo e explicita H_{ftubo} , H_{floc} e E_v é necessária a obtenção do coeficiente de perda de carga localizada para microtubos, visto que as demais incógnitas são conhecidas.

Além da preocupação em realizar um correto dimensionamento, outros aspectos da irrigação com microtubos necessitam de estudo e atenção. Devido a necessidade de um criterioso levantamento de dados e um detalhado projeto hidráulico não se sabe o potencial de um sistema com microtubos em condições de campo, com relação ao desempenho hidráulico; outro aspecto que também merece atenção é a influência da

variação da temperatura da água no desempenho do sistema com microtubos em condições de campo.

Dentro desse contexto e com o intuito de oferecer embasamento técnico-científico para o desenvolvimento de uma irrigação de baixo custo e alto nível tecnológico, este trabalho teve como objetivos:

- desenvolver um modelo matemático para dimensionamento de microtubos em que a perda de carga localizada, a perda de carga no microtubo e a energia de velocidade estivessem explícitos na equação;
- desenvolver um software, em ambiente Windows e linguagem Delphi 3.0, para dimensionamento de microtubos, com base no modelo proposto;
- apresentar os custos e verificar a viabilidade técnica da utilização de microtubos em duas condições de campo: irrigação localizada por gravidade para hortas e irrigação pressurizada para pomares;
- realizar simulações hidráulicas para verificar a influência da variação da temperatura da água no desempenho hidráulico do sistema com microtubos.

O presente trabalho foi dividido em Capítulos. A Introdução e a Revisão de Literatura correspondem respectivamente aos Capítulos 1 e 2. No Capítulo 3 foram apresentados os resultados das avaliações hidráulicas de laboratório e o modelo matemático para representação do fenômeno de perda de energia no microtubo. Com base no modelo proposto no terceiro capítulo foi elaborado um software. No quarto capítulo foi realizada a descrição da metodologia para elaboração deste software. Com o software obtido no quarto capítulo foram dimensionados e implantados dois experimentos de campo. No 5º e no 6º capítulo foram feitas as descrições destes sistemas. Nestes capítulos também foram realizadas análises do desempenho hidráulico dos sistemas e análises econômicas, com apresentação dos custos iniciais e comparação com os custos de outros sistemas. No 6º capítulo também foram realizadas simulações hidráulicas para verificar a influência da temperatura da água no desempenho hidráulico do sistema com microtubos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Microtubos

O microtubo é o mais antigo gotejador de longo percurso. Esse emissor nada mais é que um pequeno tubo de plástico com diâmetro interno entre 0,5 e 2 mm, que se caracteriza pela fácil instalação e baixo custo, quando comparado com outros tipos de emissores.

O microtubo, quando utilizado, dissipa energia ao longo de seu comprimento, liberando uma quantidade pequena de água para irrigação. O seu comprimento e diâmetro podem ser selecionados para diferentes vazões. Esses emissores apresentam, quando aplicam água sob regime de escoamento laminar, os inconvenientes de alta sensibilidade a variações de temperatura e pressão, além de maiores riscos de entupimento (Soares, 1981).

Segundo Silva et al. (1988), considerando o processo artesanal e o baixo custo de confecção/instalação, linhas laterais com emissores do tipo microtubo de tamanhos variados, quando bem dimensionados, podem ser utilizados em sistemas localizados, obtendo-se razoáveis níveis de uniformidade de distribuição de água.

Cada vez mais, nota-se que o interesse por microtubos vem crescendo. O mesmo está sendo utilizado como ferramenta para o desenvolvimento de pequenos fazendeiros e comunidades carentes.

Em 1995 a International Development Enterprises (IDE) começou a trabalhar na redução dos custos da irrigação comercial para que se tornasse acessível aos pequenos produtores. As atividades começaram com grupos de pequenos produtores no semi-árido e regiões montanhosas da Índia e Nepal, onde os recursos hídricos são escassos e os

produtores não tem acesso a bombas ou sistemas de irrigação. Dentro deste contexto a IDE utiliza a irrigação localizada por gravidade como alternativa para o aumento do potencial de irrigação de pequenos produtores. Em diversas localidades, como Índia, Nepal e Kênia este sistema substituiu a irrigação por superfície, forma tradicionalmente utilizada. Na tabela a seguir são apresentados os aumentos na economia de água e produtividade obtidas na Índia (Frausto, 2000).

Tabela 1. Comparação entre irrigação localizada e irrigação por superfície na Índia (Frausto, 2000)

Cultura	Aumento na eficiência de irrigação (%)	Aumento de produtividade (%)
Banana	45	52
Tomate	39	50
Algodão	53	27

No Kênia, principalmente no semi-árido, devido à escassez de água, a irrigação por gravidade com microtubos foi introduzida pela Christian Mission Aid em 1995, como ferramenta para o desenvolvimento dos pequenos fazendeiros. O sistema foi introduzido na forma de “kit”, onde reservatórios com 1 m de altura forneciam água para linhas laterais com microtubos (Frausto, 2000).

Segundo Ngigi (2001) as vantagens desse sistema em relação aos sistemas importados são a flexibilidade e a simplicidade, este pode ser facilmente montado por fazendeiros e trabalhadores locais. Segundo o mesmo autor, a população demonstrou uma clara demanda pelo sistema.

No México, onde os pequenos produtores são responsáveis por 40% da produção agrícola, existe um programa para desenvolvimento da irrigação em pequenas propriedades rurais. Vários projetos foram implantados para a verificação da viabilidade de utilização do sistema de irrigação localizada por gravidade (Maldonado & Compartido, 2000).

No Brasil empresas de irrigação comercializam “kits” para irrigação localizada por gravidade. Entretanto, estes sistemas utilizam tubos-gotejadores ao invés de

microtubos, o que proporciona um aumento no custo do sistema e uma diminuição da flexibilidade, principalmente, em relação ao espaçamento e à disposição dos emissores.

2.2 Hidráulica de microtubos

O dimensionamento de microtubos é realizado com base no cálculo da perda de carga causada pelo emissor em determinada condição de vazão e pressão. Conforme Khatri et al. (1979) e Ishaq & Ibrahim (1995), essa perda de energia é uma combinação entre perda de carga no tubo e perdas menores. Essas perdas menores correspondem à perda de carga localizada e à energia de velocidade.

Na literatura existem equações empíricas que expressam esta relação, tal como as equações obtidas por Khatri et al. (1979) e Vermeiren & Jobling (1980); porém, são equações que não discriminam perda de carga localizada, perda de carga no tubo e nem energia de velocidade.

A perda de carga localizada, a perda de carga no tubo e a energia de velocidade podem ser representadas pelas equações a seguir:

$$H_{ftubo} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

$$H_{floc} = K \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

$$E_v = \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

em que:

H_{ftubo} – perda de carga no tubo (m.c.a.);

f – fator de atrito da fórmula universal (adimensional);

L – comprimento do microtubo (m);

d – diâmetro interno do microtubo (m);

V – velocidade da água no microtubo ($m\ s^{-1}$);

g – aceleração da gravidade ($m\ s^{-2}$);

H_{floc} – perda de carga localizada (m.c.a.);

K – coeficiente de perda de carga localizada (adimensional);

E_v – energia de velocidade (m.c.a.).

Khatri et al. (1979) realizaram um estudo sobre hidráulica de microtubos e determinaram equações que representam a perda de carga total em diversas condições de regime de escoamento (eq. 4, 5, 6 e 7). Os referidos autores consideram, que as perdas localizadas podem ser negligenciadas no regime laminar.

- Equação geral para qualquer regime:

$$H = 0,0054 \frac{Q^{1,516}}{d^{4,245}} L \quad (4)$$

- Equação para regime laminar:

$$H = 0,0074 \frac{Q^{1,253}}{d^{3,361}} L \quad (5)$$

- Equação para regime de transição:

$$H = 0,0034 \frac{Q^{1,665}}{d^{4,190}} L \quad (6)$$

- Equação para regime turbulento:

$$H = 0,0036 \frac{Q^{1,779}}{d^{4,857}} L \quad (7)$$

em que:

H - perda de carga total (m.c.a.);

d - diâmetro interno do microtubo (mm);

Q - vazão do emissor (L h⁻¹);

L - comprimento do microtubo (cm).

Segundo Vermeiren & Jobling (1980) os microtubos possuem grandes vantagens, são utilizados em inúmeros países e adaptam-se a parcelas com declividade acentuada e

variada. Segundo os mesmos autores a relação entre vazão, carga piezométrica, comprimento e diâmetro interno pode ser expressa por:

$$q = a.L^b.H^c.\phi^d \quad (8)$$

em que:

q – vazão do microtubo ($L h^{-1}$);

L – comprimento do microtubo (m);

H – carga piezométrica (m.c.a.);

ϕ – diâmetro interno do microtubo (mm);

“a”, “b”, “c” e “d” – coeficientes que dependem do valor de ϕ , cujos valores estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes da fórmula para cálculo da vazão de um microtubo (vazão em $L h^{-1}$, comprimento em metro, carga piezométrica em m.c.a. e diâmetro interno em mm)

Coeficientes	Diâmetro interno - ϕ (mm)						
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
a	0,86	0,91	1,02	1,14	1,16	1,28	1,38
b	-0,78	-0,75	-0,72	-0,68	-0,65	-0,62	-0,58
c	0,85	0,82	0,78	0,75	0,72	0,69	0,65
d	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1

Fonte: Vermeiren & Jobling (1980)

Oliveira (1978) testou microtubos sob pressão constante, onde procurou-se verificar a variação na vazão, decorrente do processo de fabricação e a existência ou não da correlação entre a temperatura da água e a vazão do gotejador, concluindo que:

- a temperatura influencia sensivelmente a vazão do microtubo;
- em comparação com outros gotejadores, o microtubo estudado tem a vantagem de permitir uma menor variação de vazão na linha lateral, se for utilizado com uma mesma temperatura;

- dentre os emissores estudados o microtubo foi o que obteve a menor variação de vazão sob a mesma pressão;
- no cálculo do comprimento do microtubo, para uma vazão de 8,076 L h⁻¹, pela equação de Kenworth & Kesner¹ e pela equação de Darcy-Weisbach, foram encontrados respectivamente, os valores de 0,830 e 0,857 m, concluindo que em termos práticos pode ser utilizada as duas equações.

Segundo Kenworth & Kesner¹, citados por Oliveira (1978), o comprimento do microtubo é uma função logarítmica da vazão desejada, da carga piezométrica na sua entrada e do seu diâmetro interno (eq. 9).

$$\log L = 1,82 + (1,06 \cdot \log H) + (4,74 \cdot \log d) + 7,66 \cdot (\log d)^2 - (1,20 \cdot \log Q) - 0,15 \cdot (\log d)^2 \quad (9)$$

em que:

L – comprimento do microtubo (cm);

H – carga piezométrica na entrada do microtubo (m.c.a.);

d – diâmetro do microtubo (mm);

Q – vazão do microtubo (L h⁻¹).

Keller & Karmeli (1975) relatam que o comprimento da passagem de um gotejador de longo percurso, necessário para a obtenção de uma descarga preestabelecida, pode ser obtido pela equação de Darcy-Weisbach. Nessa equação, qualquer variação no diâmetro da seção transversal do fluxo influirá consideravelmente na perda de energia da água por atrito.

2.3 Hidráulica de linhas laterais

¹ KENWORTH, A.L.; KESNER, C. Trickle irrigation in Michigan orchards: controlling rate of flow regulating valves and microtubes. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2, Riverside, 1974. **Anais**. Riverside: ASAE, 1974. p.275-280.

Segundo Schiozer (1990) e Porto (1999) foi aproximadamente na primeira metade do século XIX que uma primeira solução foi obtida na análise de escoamento de um fluido em tubos circulares.

Hagen em 1839 e Poiseuille em 1840, trabalhando isoladamente, obtiveram resultados iguais. Hagen (experimentalmente) e Poiseuille (teoricamente) obtiveram a função de perda de pressão no tubo:

$$\Delta p = 32 \cdot \mu \frac{L}{\gamma \cdot D^2} V \quad (10)$$

em que:

Δp – queda de pressão ($d \text{ cm}^{-2}$);

μ – viscosidade dinâmica do fluido (poise);

L – comprimento do tubo (cm);

D – diâmetro do tubo (cm);

V – velocidade do fluido (cm s^{-1});

γ – peso específico ($d \text{ cm}^{-3}$).

As condições dos ensaios de Hagen e Poiseuille ficaram longe de possibilitar a aplicação da equação à grande maioria das aplicações tecnológicas, pois os ensaios foram realizados em condição de escoamento laminar (Schiozer, 1990).

Segundo o mesmo autor, experiências realizadas por Darcy e Weisbach com escoamento de água em tubos circulares, conduziram a uma formulação genérica para a perda de carga, expressa por:

$$H = f \frac{L V^2}{d 2g} \quad (11)$$

A eq. (11) é a formula Universal de perda de carga ou equação de Darcy-Weisbach, equação de grande importância nos problemas de escoamento.

O fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach (f) pode ser obtido pelas seguintes expressões:

- para regime de escoamento laminar ($NR < 2.000$):

$$f = \frac{64}{NR} \quad (12)$$

em que:

NR – número de Reynolds.

- para regime de escoamento turbulento ($4.000 < NR < 100.000$):

$$f = \frac{0,316}{NR^{0,25}} \quad (13)$$

A formulação de Hagen-Poiseuille, quando apresentada na forma da equação de Darcy-Weisbach, permite concluir que no regime laminar se tem a eq. (12), mostrando que, no escoamento laminar, o fator de atrito só depende do NR (Porto, 1999).

Em 1914, Blasius tomando por base os resultados de um grande número de ensaios de escoamentos turbulentos, que se estenderam até $NR=10^5$, deduziu a eq. (13) (Schiozer, 1990).

A equação de Darcy-Weisbach pode ser utilizada tanto no regime laminar quanto no turbulento, por esta razão, é uma das equações mais utilizadas para a estimativa da perda de carga.

Outras equações, tal como Hazen-Williams, também fornecem bons resultados na estimativa da perda de carga, com a vantagem de oferecer uma maior praticidade no cálculo. Entretanto, para fins de elaboração de um programa computacional, a praticidade no cálculo é um fator que deve ser levado a segundo plano, visto que o computador irá realizar todo o processo de dimensionamento. Portanto, neste caso, deve-se selecionar a equação que teoricamente forneça o resultado mais preciso, sem se preocupar com a dificuldade na obtenção dos resultados.

Assy (1977), estudando comparativamente a fórmula universal de perda de carga e as fórmulas teórico-empíricas, concluiu que a equação de Hazen-Williams apresenta-se correta apenas para condutos hidraulicamente lisos e para NR acima de 5×10^5 , onde o coeficiente C assume um valor sensivelmente constante (da ordem de 158); nos demais casos, o valor de C é função do NR e da rugosidade relativa.

2.4 Avaliação de sistemas de irrigação

Para a avaliação técnica do desempenho de sistemas de irrigação uma forma consagrada é a utilização de coeficientes que representam a uniformidade de distribuição de água. Neste trabalho foram realizadas avaliações nos dois experimentos de campo que utilizavam linhas laterais com microtubos.

Na irrigação localizada, um coeficiente bastante utilizado para representação da uniformidade é a Uniformidade de Distribuição, criado por Kruse (1978):

$$UD = 100 \cdot \frac{q_{\min}}{q_{\text{med}}} \quad (14)$$

em que:

UD - Uniformidade de Distribuição, em %;

q_{\min} - media de 25% das menores vazões;

q_{med} - médias de todas as vazões.

Além da UD outro coeficiente de uniformidade utilizado para a determinação do desempenho do sistema é a Uniformidade Estatística. Keller et al. (2001) recomendam a utilização deste coeficiente na representação da uniformidade de pequenos sistemas de irrigação localizada (eq. 15).

$$U_{\text{est}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{q_{\text{med}}} \right) \quad (15)$$

em que:

U_{est} - Uniformidade Estatística, em %;

σ - desvio padrão das vazões.

Conforme o critério de classificação dos valores de U_{est} , para sistemas de irrigação localizada de baixo custo e pequenas áreas, proposto por Keller et al. (2001),

valores acima de 88% são excelentes, valores entre 88 e 80% são bons e valores entre 80 e 68 % são aceitáveis.

De acordo com Keller & Bliesner (1990) sistemas de irrigação por gotejamento em áreas relativamente pequenas com relevo uniforme devem ser projetados para produzir valores de Uest acima de 88%.

Outro fator que também foi levado em consideração na avaliação técnica é a variabilidade existente entre os emissores, decorrentes do processo de fabricação do microtubo.

Assumindo que as diferentes vazões ocasionadas pelos processos construtivos têm distribuição normal, isso permite utilizar os conceitos de estatística correspondentes a essa distribuição para conclusões quantitativas.

Solomon (1979) propôs, então, um coeficiente de variação de fabricação (CVF), dado pela expressão:

$$CVF = \frac{\sigma}{q_{med}} \quad (16)$$

em que:

CVF - coeficiente de variação de fabricação (adimensional).

O CVF é um importante fator que influencia a uniformidade de emissão de água. Segundo Solomon (1979), os valores típicos oscilam entre 0,02 e 0,10 podendo algumas vezes ser observados valores mais elevados.

Torna-se importante, portanto, quando se seleciona um emissor, conhecer o CVF, que deve ser fornecido pelo fabricante.

Na Tabela 3 apresenta-se duas classificações de emissores quanto ao CVF.

Tabela 3. Classificação da uniformidade de vazão

	CVF (%)	Classificação
Solomon (1979)	Até 3	Excelente
	4 a 7	Média
	8 a 10	Marginal
	11 a 14	Pobre
	Acima de 15	Ruim
ABNT(1986)	até 10	Boa
	10 a 20	Média
	20 a 30	Marginal
	Acima de 30	Inaceitável

Para a determinação experimental do CVF e da relação vazão x pressão, a ABNT (1986) estabelece que seja estudada uma amostra de no mínimo 50 unidades para gotejadores e 20 para microaspersores, obtidas aleatoriamente na linha de produção do fabricante.

2.5 Informática na agricultura

Com a modernização da agricultura, as empresas passaram a utilizar microcomputadores em suas atividades diárias. Projetistas e engenheiros utilizam esta valiosa ferramenta para agilizar seus cálculos e para elaborar a apresentação e a manipulação de seus projetos (Marques, 2000).

Segundo Baltra (1987), o cálculo computacional abriu um novo e vasto panorama com muitas vias de solução para os problemas da água, sua distribuição e seu benefício por meio da irrigação.

Os avanços da informática nos últimos anos permitiram a engenheiros e pesquisadores o desenvolvimento de programas cada vez mais sofisticados. Grande capacidade de armazenamento de dados e alta velocidade de processamento, que antes só estavam disponíveis a centros de pesquisa, estão agora ao alcance de qualquer pessoa com um mínimo de conhecimento em informática (Viccino, 1996).

Como exemplo desta evolução pode-se citar alguns autores que desenvolveram ferramentas computacionais na área de irrigação:

- Souza (1993) desenvolveu um modelo computacional para fins de manejo de irrigação integrando banco de dados climáticos com o método do balanço de água no solo;
- Maia (1994) desenvolveu um software para auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação localizada. O autor teve como objetivo a obtenção de um dimensionamento com agilidade, precisão e segurança nos cálculos;
- Santos (1995) desenvolveu um software para seleção e dimensionamento hidráulico de bombas centrífugas;
- Marques (2000) desenvolveu um software para dimensionamento de irrigação por sulcos. O software auxilia os técnicos a desenvolver projetos de irrigação por sulcos com facilidade, uma vez que as informações necessárias são solicitadas de modo interativo e possibilita criar várias situações durante a fase do projeto;
- Na área de automação, Souza, R. (2001) desenvolveu um software para controle e automação de sistemas de irrigação para áreas experimentais;
- Vilela (2002) elaborou um programa computacional que permite dimensionar sistemas de pulverização acoplados ao pivô-central;
- Na área de obras hidráulicas Ziemer (2003) elaborou um aplicativo computacional para o dimensionamento de canais e estruturas hidráulicas;
- Giuliani (2004) desenvolveu um aplicativo computacional para simulação da distribuição de água em sistemas autopropelidos de irrigação.

2.6 Modelagem na irrigação

Segundo Dourado Neto et al. (1998) e Detomini (2004) a modelagem é oriunda de uma área do conhecimento chamada análise de sistemas, e pode ser definida como uma organização de atributos de interesse particular, que visa conceituar, integrar e generalizar o conhecimento científico por meio da simplificação da realidade, e que resulta em uma ferramenta de auxílio para simulações de diversos cenários.

A técnica de modelagem em agricultura pode ser útil para definir as prioridades de pesquisa, bem como para melhor entender as interações que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera. O modelo pode ser utilizado para estimar a importância e o efeito de certos parâmetros no intuito de definir os fatores a serem considerados. O modelador deve definir seus objetivos antes de iniciar o trabalho experimental, bem como desenvolver um modelo que atenda o objetivo proposto (Dourado Neto et al., 1998).

Existem diversas classificações para diferenciar os modelos, uma delas os dividem em matemáticos e de simulação. Os modelos matemáticos, simplesmente referentes a representações matemáticas de um fenômeno, podem ser de três tipos: empíricos, baseados em dados puramente observados; estocásticos, em que o processo é descrito pelas leis de probabilidade e mecânicos, que consideram as leis físicas, químicas e biológicas no processo, sendo estes os mais versáteis dentre os tipos de modelos matemáticos. Já os modelos de simulação são modelos mais complexos por englobar um ou mais modelos matemáticos (Detomini, 2004).

O emprego da técnica computacional e o uso dos denominados “modelos matemáticos” foram estendendo-se, progressivamente, à maioria dos campos técnicos, encontrando um meio propício para a resolução dos problemas pertinentes às diversas disciplinas vinculadas a engenharia hidráulica, projeto e avaliação de estudos em geral (Baltra, 1987).

A informática, a modelagem e a matemática fazem parte de um conjunto de ferramentas que o técnico tem ao seu dispor e pode utilizar em quase todas as suas atividades de planejamento e projeto na área de irrigação (Baltra, 1987). Segundo o mesmo autor, nos projetos de irrigação podem ser usados os modelos para: otimização do uso dos recursos disponíveis (mão-de-obra, água e solo); previsão de colheitas; avaliação econômica; cálculos hidráulicos; previsões meteorológicas e impacto ambiental.

Como exemplo pode-se citar: na área de hidráulica, Rodrigues (1999) desenvolveu um modelo para dimensionamento e simulação do desempenho de pivô central, Guimarães (1995) elaborou um modelo matemático para dimensionamento e análise de redes hidráulicas em irrigação por aspersão convencional e Rojas (2002)

modelou o funcionamento de um protótipo de carneiro hidráulico. Na área de avaliação econômica, Souza, J. (2001) propôs um modelo para a análise de risco econômico aplicado a projetos de irrigação para a cultura do cafeeiro e, na área de solos e impacto ambiental, Miranda (2001) modelou a dinâmica de solutos.

Para a avaliação dos modelos, diversos autores utilizaram o Erro Quadrático Médio (EQM) (eq. 17).

$$\text{EQM} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (D - D_i)^2}{n} \right]^{0,5} \quad (17)$$

em que:

D – dado observado;

D_i – dado estimado;

n – número total de observações.

Abaixo são citados dois autores que utilizaram o EQM para a verificação de modelos ou para a comparação entre dados experimentais:

- Elias (2004) utilizou o EQM para a comparação entre modelos que estimavam a temperatura no perfil do solo;
- Turco & Fernandes (2003) utilizaram o EQM para comparação entre os valores medidos por um psicrômetro de termopares e os valores medidos por um psicrômetro de termômetros de mercúrio.

3 MODELAGEM PARA O DIMENSIONAMENTO DE MICROTUBOS EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Resumo

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo matemático para dimensionamento de microtubos em que a perda de carga localizada, a perda de carga no microtubo e a energia de velocidade estivessem explícitos na equação. Outros objetivos foram: verificar se a perda de carga localizada é um fenômeno que pode ser desprezado em regime laminar, verificar se o coeficiente K da perda de carga localizada pode ser considerado um valor constante e propor uma metodologia para determinação do diâmetro do microtubo. No presente trabalho foi estabelecida com base nos resultados dos ensaios dos microtubos, a relação entre pressão, comprimento, vazão e diâmetro para o modelo matemático proposto de representação do fenômeno de perda de energia no microtubo. O modelo matemático proposto, que considerou o coeficiente K da equação de perda carga localizada constante, pode ser utilizado para representar o fenômeno de perda de energia no microtubo, o mesmo representou melhor este fenômeno do que o modelo que não considera a perda de carga localizada, portanto a perda de carga localizada é um fator que deve ser considerado.

Summary

The purpose of this study was to develop a mathematical model for microtubes design in which the localized head loss, the head loss in the microtube and the velocity head are clear in the equation. Consequently other goals were: to verify if the localized head loss is a phenomenon that can be neglected in the laminar flow; to verify if the K coefficient of the localized head loss could be considered a constant value and to propose a methodology in order to determine the diameter of the microtube. In the present work, based on the results of the microtube tests, a relationship was established between pressure, length, discharge rate and diameter for the proposed mathematical model of the power loss phenomenon representation in the microtube. The proposed mathematical model, which has considered the K coefficient of the constant localized head loss equation, can be used to represent the phenomenon of energy loss in the microtube, it represented this phenomenon better than the model that does not consider the localized head loss, therefore the localized head loss needs to be consider in the phenomenon.

3.1 Introdução

Com o crescimento pelo interesse em sistemas de irrigação com linhas laterais e microtubos, cresce também a necessidade em aprofundar os conhecimentos sobre o fenômeno de perda de energia no microtubo.

Para que a vazão do microtubo seja estimada com precisão é necessário que se utilize uma equação representativa de perda de energia que correlacione vazão, comprimento, pressão na entrada do microtubo e diâmetro.

Conforme Khatri et al. (1979) e Ishaq & Ibrahim (1995), o fenômeno de perda de energia no microtubo é uma combinação entre perda de carga no microtubo (H_{ftubo}) e perdas menores. Essas perdas menores correspondem à perda de carga localizada (H_{floc}) e à energia de velocidade (E_v). O H_{floc} corresponde a perda localizada na entrada e na saída do microtubo e a E_v corresponde ao jato d'água na saída do mesmo.

Na literatura existem muitas equações empíricas que representam esta perda de energia no microtubo. Entretanto, essas equações englobam H_{ftubo} , H_{floc} e E_v de uma forma que não é possível separá-los.

Uma maneira de entender melhor o fenômeno de perda de energia no microtubo é desenvolver um modelo matemático para dimensionamento de microtubos em que estes componentes possam ser separados.

Para o desenvolvimento de uma equação que represente o fenômeno de perda de energia no microtubo e explicita H_{ftubo} , H_{floc} e E_v é necessário a obtenção do coeficiente de perda de carga localizada para microtubos. Nas equações empíricas o H_{floc} está embutido nas equações. Por esta razão não se tem referência da magnitude do H_{floc} no fenômeno de perda de energia no microtubo e nem do coeficiente K do H_{floc} .

O diâmetro do microtubo também é um importante parâmetro na determinação do fenômeno de perda de energia, visto que o diâmetro, o comprimento e as informações obtidas em laboratório (vazão e pressão) serão utilizados para determinação do coeficiente K da perda de carga localizada. Devido às pequenas dimensões do diâmetro qualquer erro na sua estimativa pode mascarar a estimativa do K . Logo é de suma importância determinar com precisão o diâmetro do microtubo, e não apenas utilizar os dados de catálogo.

Dentro desse contexto este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo matemático para dimensionamento de microtubos em que a perda de carga localizada, a perda de carga no microtubo e a energia de velocidade estivessem explícitos na equação. Outros objetivos foram: verificar se a perda de carga localizada é um fenômeno que pode ser desprezado em regime laminar, verificar se o coeficiente K da perda de carga localizada pode ser considerado um valor constante e propor uma metodologia para determinação do diâmetro do microtubo.

3.2 Material e métodos

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, onde foi estabelecida com base nos resultados dos

ensaios dos microtubos, a relação entre pressão, comprimento, vazão e diâmetro para um modelo matemático de representação do fenômeno de perda de energia no microtubo, conforme seqüência descrita a seguir.

Para o desenvolvimento do modelo que representa o fenômeno de perda de energia no microtubo inicialmente utiliza-se a equação de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{ftubo} + H_{floc} \quad (18)$$

em que:

P_1 - pressão na linha lateral próximo a inserção do microtubo;

γ - peso específico da água;

P_2 - pressão na saída do microtubo;

V - velocidade da água;

g - aceleração da gravidade;

Z - energia de posição;

H_{ftubo} - perda de carga no microtubo;

H_{floc} - perda de carga localizada.

Considerando que a cota de alimentação do microtubo é a mesma da saída ($Z_1=Z_2$) e que no interior do tubo de alimentação do microtubo não tem componente de velocidade na direção do microtubo ($\frac{V_1^2}{2g} = 0$) obteve-se a eq. (19).

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + H_{ftubo} + H_{floc} \quad (19)$$

No modelo, para determinação da perda de carga no microtubo utilizou-se a equação de Darcy-Weisbach, que é a fórmula Universal para determinação de perda de carga em tubos:

$$H_{ftubo} = f \frac{L V^2}{d 2g} \quad (20)$$

em que:

f – fator de atrito da fórmula universal (adimensional);

d – diâmetro do tubo.

A perda de carga localizada que ocorre devido a uma dissipação de energia motivada pela turbulência, pode ser expressa em função da altura cinemática corrigida mediante o coeficiente empírico K (eq. 21).

$$H_{floc} = K \frac{V^2}{2g} \quad (21)$$

em que:

K – coeficiente de perda de carga localizada (adimensional).

No modelo proposto, considera-se que a perda de carga localizada está representando as perdas ocasionadas na entrada e na saída do microtubo e a energia de velocidade ($V^2/2g$) representa o jato d'água na saída do mesmo.

O modelo proposto, que considera a perda de carga localizada com o coeficiente K da eq. (21) constante, fica da seguinte forma:

$$H = H_{ftubo} + EV + H_{floc}$$

$$H = f \frac{L V^2}{d 2g} + \frac{V^2}{2g} + K \frac{V^2}{2g} \quad (22)$$

em que:

H – carga piezométrica na entrada do microtubo (m.c.a.);

L – comprimento do microtubo (m);

d – diâmetro interno do microtubo (m);

V – velocidade da água no microtubo ($m s^{-1}$);

g – aceleração da gravidade ($m s^{-2}$).

Neste modelo a perda de carga na parede do tubo é calculada com a fórmula Universal, considerando-se o regime laminar; logo, o fator de atrito da fórmula universal é calculado pela eq. (23).

$$f = \frac{64}{NR} \quad (23)$$

em que:

NR - número de Reynolds.

Substituindo a eq. (23) na eq. (22) teremos:

$$H = \frac{64}{NR} \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} + K \frac{V^2}{2g} \quad (24)$$

Para verificação da relevância da perda de carga localizada, o modelo acima foi comparado com um modelo que desconsidera o Hfloc:

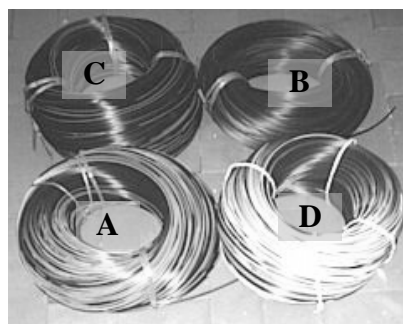
$$H = H_{ftubo} + EV$$

$$H = \frac{64}{NR} \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} \quad (25)$$

A avaliação dos microtubos foi realizada em diferentes condições de diâmetro, pressão e comprimento. Durante o ensaio, o regime de escoamento da água nos microtubos foi laminar, situação esta considerada na elaboração dos dois modelos, com o intuito de evitar as incertezas e as dificuldades de representação do fenômeno de perda de energia no microtubo em regime de transição.

Não foram realizados ensaios com microtubos aplicando água em regime turbulento, pois a utilização do microtubo nessa condição proporciona altas vazões. Neste trabalho foi proposto a utilização de microtubos em duas condições de campo, em ambas os casos é inviável a utilização de microtubos com altas vazões.

Foram avaliados microtubos com diâmetros internos (D_i) de 1,0 mm (A); 0,8 mm (B); 0,7 mm (C) e 0,6 mm (D) (Figura 1). Os valores dos diâmetros foram fornecidos pelo fabricante. O diâmetro externo dos quatro microtubos é o mesmo, 2,5 mm.



A – Di = 1,0 mm
 B – Di = 0,8 mm
 C – Di = 0,7 mm
 D – Di = 0,6 mm

Figura 1 - Microtubos utilizados nos ensaios

Os microtubos foram ensaiados nos comprimentos de 0,1 a 1,5 m (com incrementos de 0,1 m). Para cada comprimento o emissor foi posto em funcionamento em cinco ou seis pressões de serviço diferentes. A pressão de serviço do emissor foi regulada por meio de um registro de precisão e medida com um manômetro de mercúrio. Para pressões abaixo de 20 kPa foi utilizado um piezômetro.

A vazão do microtubo foi mensurada três vezes em cada condição de pressão. As pressões em que foram realizados os ensaios nos respectivos comprimentos, estão na Tabela 4, cujos valores foram selecionados na fase de planejamento do trabalho. Durante os ensaios foram realizadas medidas de vazão com pressões próximas a esses valores.

Tabela 4. Valores de pressões e comprimentos de microtubo em que foram realizadas medidas de vazão

L (m)	Pressões (kPa)						
0,1	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	-
0,2	3,0	7,0	10,0	13,0	16,0	19,0	-
0,3	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	-
0,4	6,0	12,0	18,0	24,0	30,0	36,0	-
0,5	8,0	16,0	24,0	32,0	36,0	40,0	46,0
0,6	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	-
0,7	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0
0,8	13,0	26,0	39,0	52,0	65,0	78,0	-
0,9	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	-
1,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	-
1,1	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	100,0
1,2	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0	120,0	-
1,3	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0	120,0	-
1,4	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0	120,0	130,0
1,5	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0	150,0	-

Em cada repetição foi realizada a medição da temperatura da água para posterior consideração da viscosidade cinemática. Esta iniciativa é de suma importância, pois sabe-se que os microtubos, por estarem aplicando água sob regime de escoamento laminar são sensíveis à variação de temperatura.

Os microtubos foram inseridos em um tubo de polietileno com diâmetro de 13,6 mm. A inserção do microtubo, no tubo de 13,6 mm, foi padronizada em 5 mm. Para realização do furo foi utilizado um vazador de 2 mm. A vazão dos emissores foi calculada com base no volume de água coletado durante o tempo de três minutos. A bancada de ensaios pode ser vista na Figura 2.



Figura 2 - Bancada para ensaios da relação entre vazão e pressão dos microtubos

Para verificação da variabilidade existente entre os emissores, decorrentes do processo de fabricação do microtubo, foram realizados testes em 50 unidades de cada diâmetro para obtenção do Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF) do microtubo. As condições em que foram realizados os testes podem ser observadas na Tabela a seguir.

Tabela 5. Condições em que foram realizados os testes para obtenção do CVF de cada diâmetro

Microtubo	Comprimento (m)	Pressão (kPa)
A	0,5	18
B	0,5	46
C	0,5	85
D	0,5	86

Os resultados dos ensaios de laboratório foram utilizados para determinação do coeficiente K do primeiro modelo (eq. 24), para cada diâmetro de microtubo. Esse coeficiente, por sua vez, foi obtido pelo programa computacional Table Curve 3D. No programa foram inseridos os dados obtidos em laboratório. Em três colunas (X, Y, Z) foram colocados os dados para obtenção do coeficiente K. Com base no modelo proposto (eq. 30) os dados correspondentes ao X, Y e Z são:

$$X = \frac{64.v.4.L}{\pi.2.g} \quad (26)$$

$$Y = Q \quad (27)$$

$$Z = H \quad (28)$$

$$Z = X \cdot \left(\frac{Y}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{Y^2}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{K.Y^2}{d^4} \right) \quad (29)$$

$$H = \frac{64.v.4}{\pi.2.g} \left(\frac{L.Q}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{Q^2}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{K.Q^2}{d^4} \right) \quad (30)$$

em que:

Q - vazão do microtubo ($m^3 s^{-1}$);

v - viscosidade cinemática da água ($m^2 s^{-1}$).

Posteriormente, o programa realizou o ajuste da eq. (29) para a obtenção do valor de K para cada diâmetro de microtubo.

Para escolha do modelo que melhor representasse a perda de energia no microtubo, foram estimados valores de pressão para as diversas condições de vazão, comprimento e diâmetro. Esses valores foram comparados com os valores obtidos em laboratório.

Um dos parâmetros de comparação entre modelos foi o Erro Médio Absoluto (EMA) em porcentagem. Para obtenção do EMA calcula-se a diferença entre o valor estimado de pressão e o valor medido. O EMA de cada modelo é a média entre os

valores absolutos dessas diferenças. Outro parâmetro utilizado foi o Erro Quadrático Médio (EQM):

$$EQM = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P - P_i)^2}{n} \right]^{0,5} \quad (31)$$

em que:

P – pressão medida;

P_i – pressão estimada com o modelo;

n – número total de observações.

Para determinação do diâmetro interno do microtubo foram realizadas avaliações hidráulicas em pressões de 140 a 450 kPa, com microtubos longos e regime de escoamento laminar (Tabela 6). Para cada pressão foram realizadas três repetições. Devido à predominância do Hftubo em microtubos com comprimentos maiores que o usual (de 3,1 m a 11,4 m) foram desconsideradas as perdas menores de energia (E_v e H_{floc}), ou seja, foi utilizada a fórmula Universal para a obtenção do diâmetro (eq. 32).

$$d = \frac{64}{NR} \frac{L}{H} \frac{V^2}{2g} \quad (32)$$

Tabela 6. Valores de pressões e comprimentos de microtubo em que foram realizadas medidas de vazão para obtenção dos diâmetros

Pressão (kPa)	Microtubos			
	A	B	C	D
	L (m)			
140	9,0	4,7	3,1	2,9
300	9,0	4,7	3,1	2,9
400	11,4	5,6	3,7	3,5
450	11,4	5,6	3,7	3,5

Nessa avaliação também foi mensurada a temperatura da água em cada repetição, para a consideração da viscosidade cinemática.

Para efeito de comparação o diâmetro interno do microtubo também foi determinado em um projetor de perfis com precisão de 1 μm , foram medidos dez segmentos em forma de anéis de cada diâmetro estudado.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Ensaio de laboratório

Os resultados dos ensaios feitos no laboratório podem ser vistos nas Figuras 3 e 4. Os mesmos foram expressos graficamente pelas curvas vazão versus pressão, correspondente a cada comprimento de microtubo em seus diversos diâmetros. Nas Figuras 3 e 4 os microtubos A, B, C e D correspondem respectivamente as cores: azul, vermelha, verde e amarela.

Os microtubos A, B, C e D obtiveram respectivamente 2,25; 1,64; 1,70 e 1,74% de CVF, valores classificados como excelentes por Solomon (1979) e bons por ABNT (1986).

Durante o ensaio não foram constatados vazamentos na inserção do microtubo na linha lateral, demonstrando que a introdução direta do microtubo na linha é uma alternativa viável de montagem do sistema.

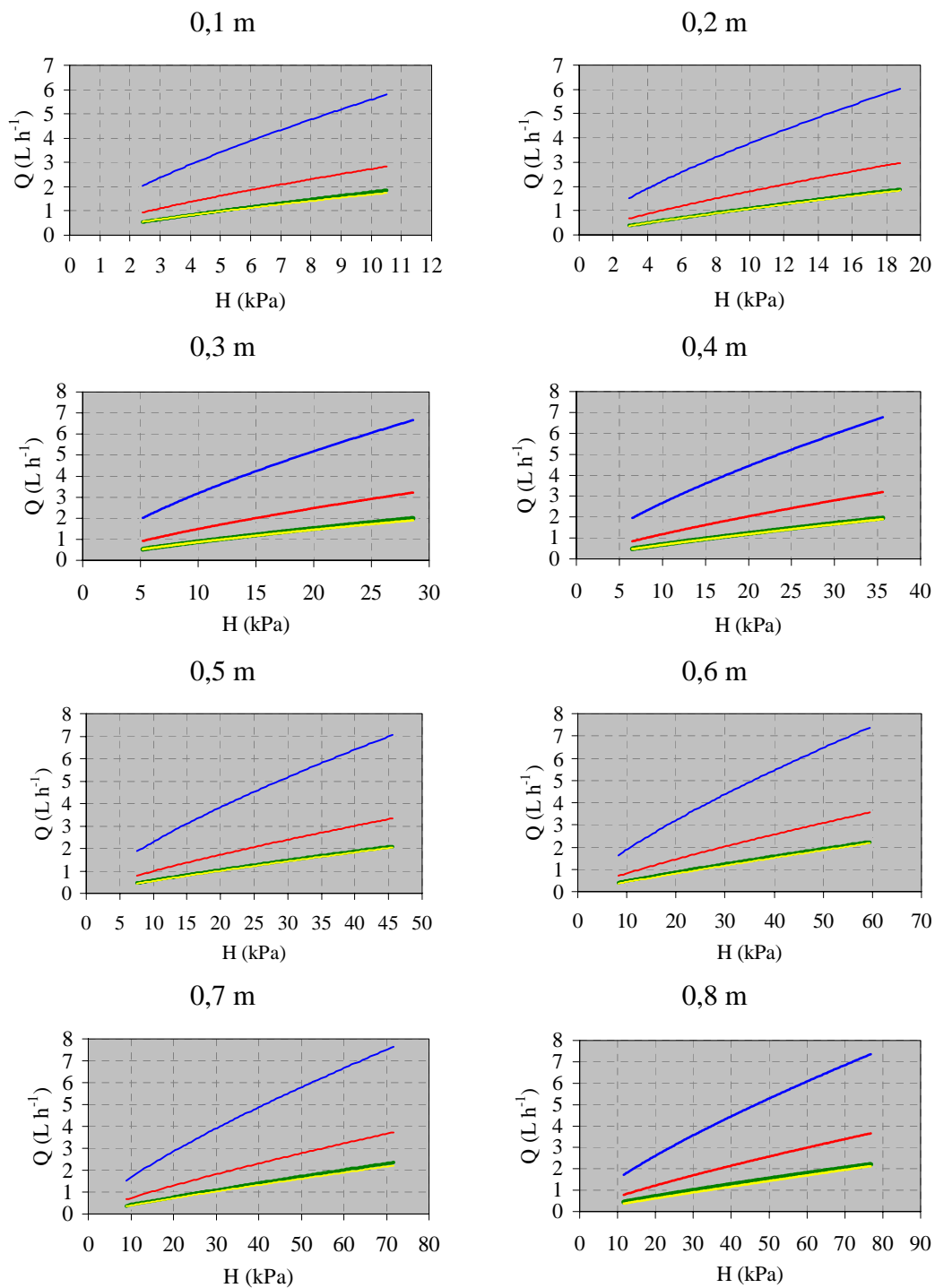


Figura 3 - Curvas vazão versus pressão dos microtubos com comprimentos de 0,1 a 0,8 m. Os microtubos A, B, C e D correspondem respectivamente as cores: azul, vermelha, verde e amarela

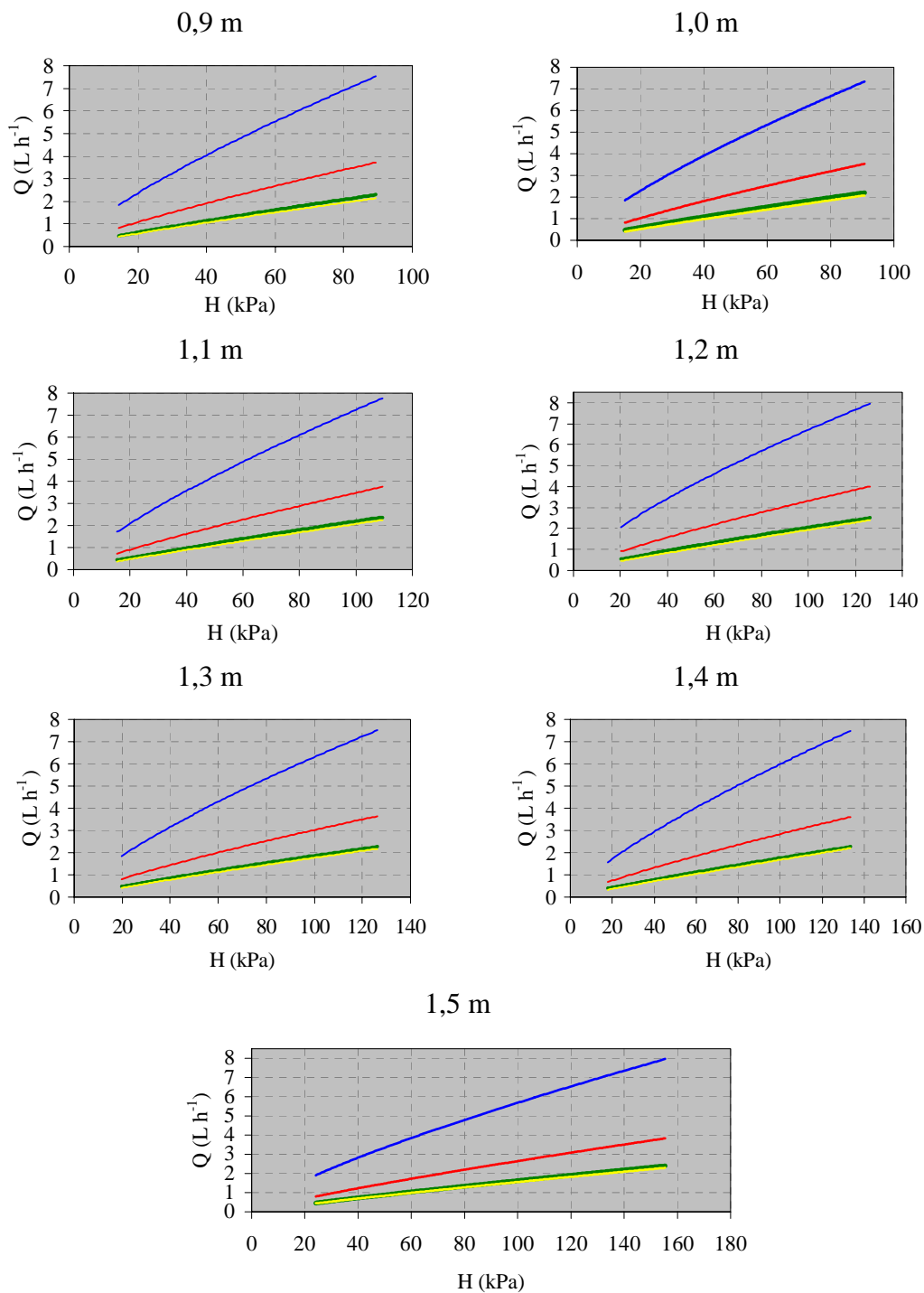


Figura 4 - Curvas vazão versus pressão dos microtubos com comprimentos de 0,9 a 1,5 m. Os microtubos A, B, C e D correspondem respectivamente as cores: azul, vermelha, verde e amarela

Com o projetor de perfil e se usando uma ampliação de cinquenta vezes, mediram-se os diâmetros internos de dez amostras de cada modelo de microtubo (Tabela 7). O microtubo D apresentou uma diferença de 0,079 mm (13,2%) entre o valor médio medido e o dado de catálogo. Os microtubos A, B e C apresentaram diferenças de 2,4; 2,5 e 0,7%, respectivamente.

Tabela 7. Diâmetros dos microtubos medidos com o perfilômetro e diferença em relação ao dado de catálogo

Microtubo	A	B	C	D
	Diâmetro (mm)			
1	0,999	0,811	0,718	0,654
2	0,998	0,831	0,696	0,636
3	0,995	0,817	0,708	0,701
4	0,999	0,820	0,702	0,690
5	0,962	0,833	0,681	0,692
6	1,037	0,811	0,683	0,685
7	1,091	0,840	0,666	0,675
8	1,062	0,822	0,691	0,697
9	1,061	0,787	0,691	0,691
10	1,036	0,830	0,713	0,673
Média	1,024	0,820	0,695	0,679
Diferença (%)	2,4	2,5	0,7	13,2

O resultado da avaliação hidráulica para determinação do diâmetro pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8. Avaliação hidráulica para determinação do diâmetro (d)

Pressão (kPa)	Microtubos							
	A		B		C		D	
	Q(L h ⁻¹)	d(mm)	Q	d	Q	d	Q	d
141	1,73	1,08	1,26	0,85	1,06	0,73	1,05	0,72
143	1,74	1,07	1,26	0,84	1,08	0,73	1,06	0,72
145	1,82	1,06	1,36	0,84	1,13	0,73	1,16	0,72
301	3,61	1,05	2,70	0,83	2,17	0,71	2,11	0,69
300	3,57	1,05	2,69	0,83	2,28	0,72	2,23	0,71
301	3,71	1,05	2,94	0,84	2,39	0,72	2,44	0,71
400	4,01	1,07	3,03	0,84	2,58	0,72	2,65	0,72
400	4,00	1,06	2,99	0,83	2,59	0,72	2,62	0,71
400	3,96	1,06	2,99	0,83	2,59	0,72	2,63	0,71
450	4,49	1,07	3,38	0,83	2,88	0,72	2,96	0,72
450	4,43	1,06	3,30	0,83	2,89	0,72	2,90	0,71
450	4,44	1,06	3,33	0,83	2,88	0,72	2,92	0,71

Com base nos dados da Tabela 8 os microtubos A, B, C e D tiveram respectivamente diâmetros médios de 1,063; 0,835; 0,722 e 0,713 mm. Na Tabela 9 verifica-se a comparação entre os diâmetros obtidos no perfilômetro e os obtidos na avaliação hidráulica.

Tabela 9. Comparação entre diâmetros obtidos no perfilômetro e nas avaliações hidráulicas

Microtubo	Perfilômetro (mm)	Hidráulica (mm)
A	1,024	1,063
B	0,820	0,835
C	0,695	0,722
D	0,679	0,713

Para determinação do coeficiente de perda de carga localizada K, com o modelo proposto, foram utilizados os diâmetros obtidos com as avaliações hidráulicas. Pois, para a medição do diâmetro com o perfilômetro a amostra é pouco representativa, já na avaliação hidráulica a amostra é mais representativa, devido ao comprimento do microtubo, por esta razão acredita-se que essa estimativa está mais próxima do diâmetro real.

3.3.2 Modelo proposto

O modelo proposto está representado pela eq. (33). Foi realizado um ajuste da eq. (33), por intermédio do Table Curve 3D, para obtenção do coeficiente de perda de carga localizada (K) de cada microtubo. O programa ajustou o valor de K para as diversas condições de pressão, vazão e comprimento obtidos em laboratório.

$$H = \frac{64.v.4}{\pi.2.g} \left(\frac{L.Q}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{Q^2}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{K.Q^2}{d^4} \right) \quad (33)$$

em que:

Q - vazão do microtubo ($m^3 s^{-1}$);

v - viscosidade cinemática da água ($m^2 s^{-1}$).

Os valores de K e o coeficiente de determinação do ajuste para cada microtubo, obtidos com o modelo proposto, estão na Tabela 10.

Tabela 10. Valores de K e coeficiente de determinação do ajuste obtidos com o modelo proposto

Microtubo	r^2	K
A	0,969	8,52
B	0,990	10,68
C	0,995	9,21
D	0,996	9,85

Com os valores de vazão, comprimento, diâmetro do microtubo e K foram estimados valores de pressão. Esse procedimento foi realizado com o modelo proposto e com o modelo que não considera H_{floc} (eq. 34). Os valores estimados de pressão foram comparados com os valores obtidos em laboratório (Figura 5). A comparação foi realizada graficamente, sendo que, quanto mais a equação ajustada estiver próxima da reta 1:1, mais os valores estimados se aproximam dos valores medidos, e quanto maior o valor do r^2 menor será a dispersão dos pontos estimados.

$$H = \frac{64.v.4}{\pi.2.g} \left(\frac{L.Q}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{Q^2}{d^4} \right) \quad (34)$$

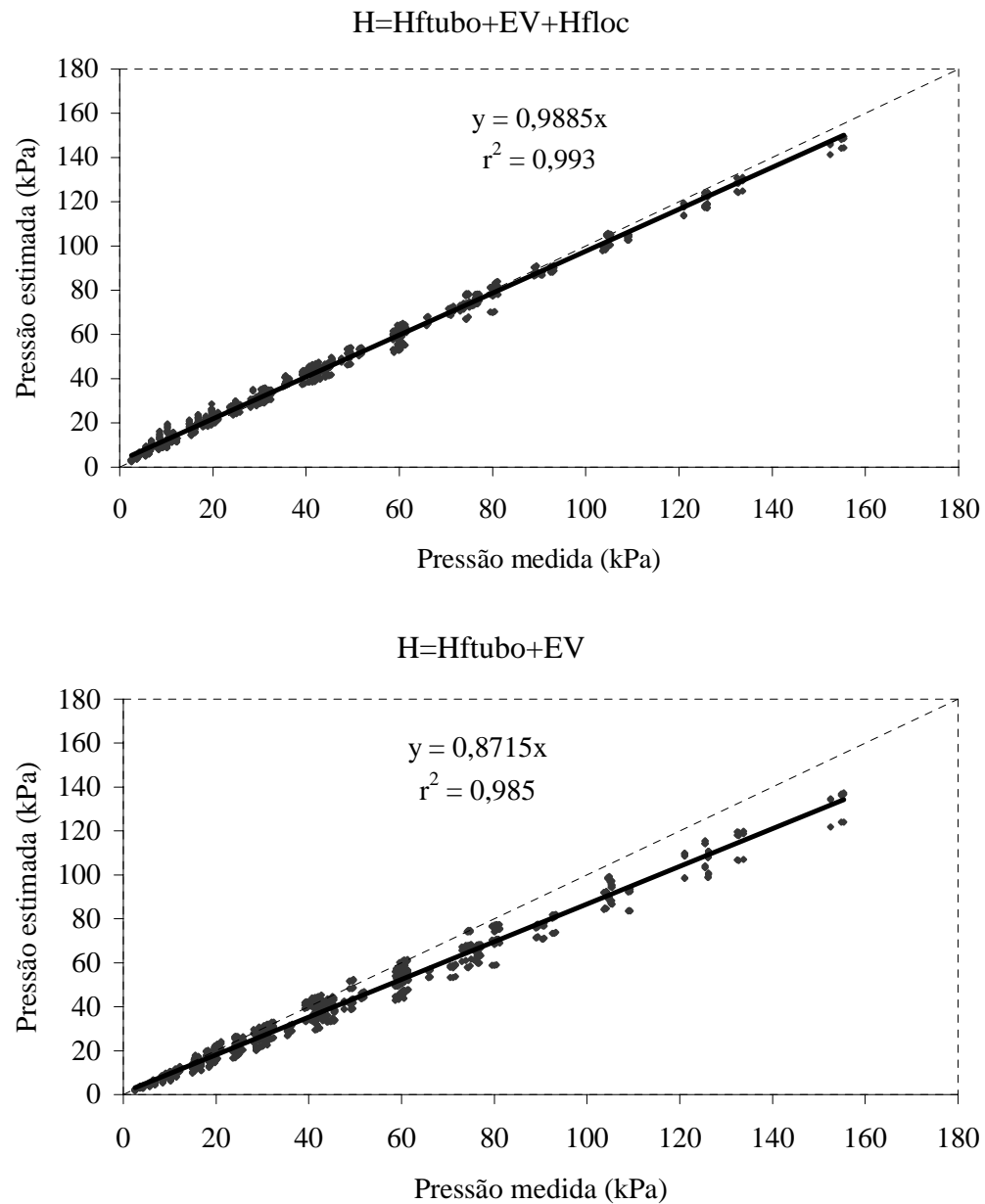


Figura 5 - Relações entre pressões medidas e pressões estimadas, obtidas com base no modelo proposto e no modelo sem a perda de carga localizada

Conforme Figura 5, o modelo proposto representou melhor o fenômeno de perda de energia no microtubo do que o modelo sem Hfloc, visto a maior aproximação da equação ajustada em relação à reta 1:1 com um elevado coeficiente de determinação (r^2).

Os valores de Erro Médio Absoluto em porcentagem e EQM também demonstram que o modelo proposto teve melhor desempenho do que o modelo sem Hfloc (Tabela 11).

Tabela 11. Parâmetros obtidos com base no modelo proposto e no modelo sem Hfloc

Modelos	Pressão medida versus pressão estimada	r^2	EQM (m)	EMA(%)
H=Hftubo+Ev+Hfloc	Y=0,9885.X	0,993	0,29	10,41
H=Hftubo+Ev	Y=0,8715.X	0,985	0,79	13,33

O melhor ajuste do modelo proposto demonstra que é importante considerar a perda de carga localizada no fenômeno de perda de energia no microtubo. O modelo proposto só não obteve um melhor desempenho, pois no modelo foi considerado um K constante para cada microtubo.

Recomenda-se a utilização desse modelo para o dimensionamento de microtubos, desde que os parâmetros do modelo sejam previamente ajustados e que o regime de escoamento no microtubo seja laminar.

Para cada condição ensaiada foi determinado um valor de K, utilizando a eq. (35). Com este valor foi verificado que para cada comprimento ensaiado houve uma relação entre K e número de Reynolds (NR). Entretanto quando foram considerados todos os comprimentos juntos não foi verificada esta relação (Figura 6). Por esta razão optou-se por adotar um valor de K constante.

$$K = \left(H - \frac{64 \cdot v \cdot 4}{\pi \cdot 2 \cdot g} \left(\frac{L \cdot Q}{d^4} \right) - \frac{16}{\pi^2 \cdot 2 \cdot g} \left(\frac{Q^2}{d^4} \right) \right) \times \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot g}{16} \left(\frac{d^4}{Q^2} \right) \quad (35)$$

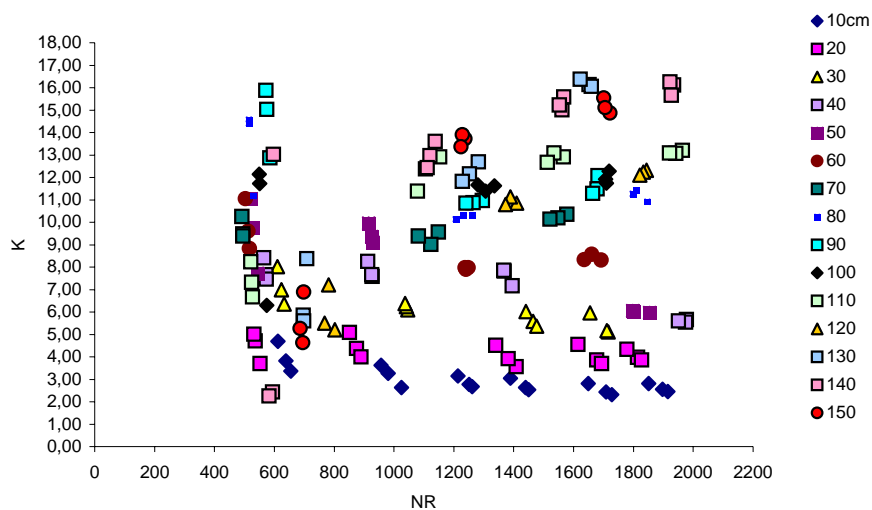


Figura 6 – Gráfico observado da relação $K \times NR$ para o microtubo Azul, com os comprimentos de 0,1 a 1,5 m

Como pode ser observado na Figura 7 existe uma relação entre $K \times NR$ em cada comprimentos isoladamente, e esta relação sofre um deslocamento conforme aumenta o comprimento do microtubo. Logo foi verificada a existência de uma relação entre K , NR e L .

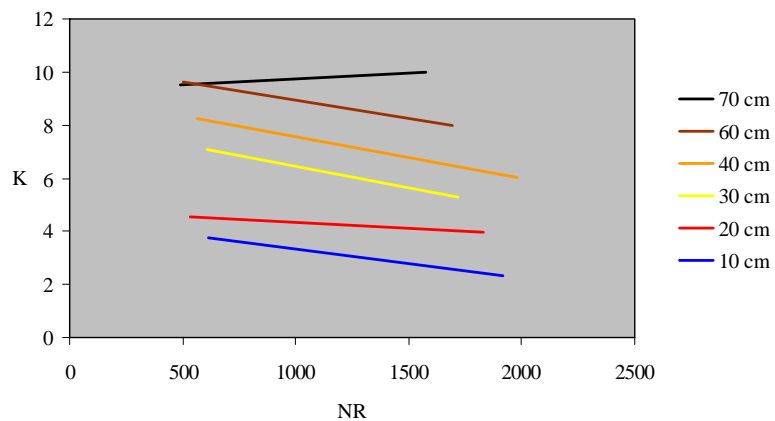


Figura 7 – Gráfico ajustado da relação $K \times NR$ para o microtubo Azul, com os comprimentos de 0,1 a 0,7 m

Para verificar a existência desta relação foram ajustadas equações com o K em função do NR e do L para cada diâmetro de microtubo (eq. 36).

$$K = a.L^b.NR^c \quad (36)$$

O resultado pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12. Coeficientes ajustados do modelo que considera K em função de L e NR

Microtubo	r^2	a	b	c
A	0,470	0,164700	0,6987	0,587
B	0,440	0,005520	0,4253	1,036
C	0,507	0,197336	0,329	0,545
D	0,686	0,006816	0,4419	1,057

Com os valores de vazão, comprimento, diâmetro e K, obtidos com a eq. (36), foram estimados valores de pressão. Os valores estimados foram comparados com os valores medidos. O resultado pode ser observado na Figura 8 e na Tabela 13.

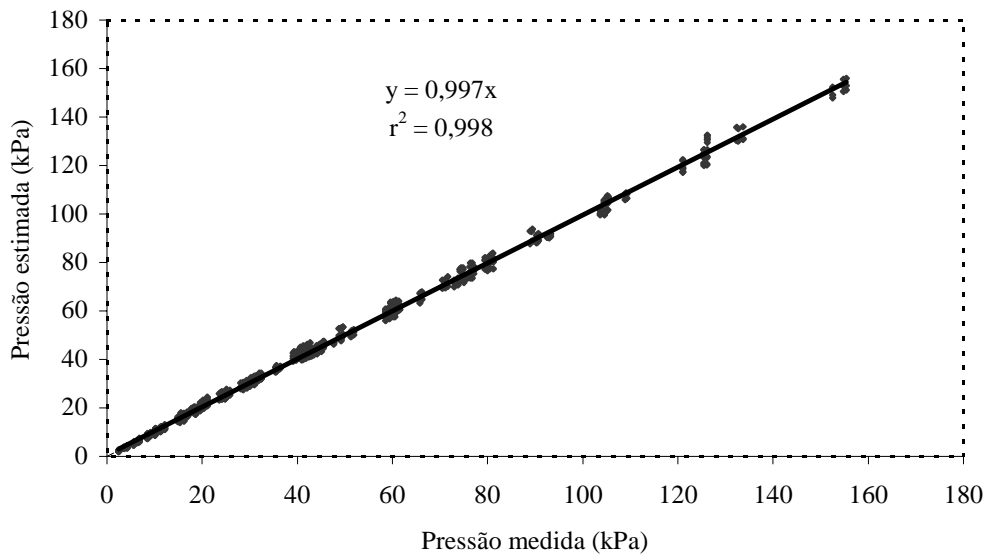


Figura 8 - Relação entre pressões medidas e pressões estimadas, obtidas com base no modelo que considera K em função de L e NR

Tabela 13. Parâmetros obtidos com base no modelo que considera K em função de NR e L

Modelo	Pressão medida versus pressão estimada	r^2	EQM (m)	EMA(%)
$H=H_{\text{tubo}}+E_v+a.L^b.NR^c.\frac{v^2}{2g}$	$Y=0,997.X$	0,998	0,15	3,71

Apesar dos baixos valores de r^2 observados na Tabela 12, a utilização do K em função do L e do NR melhorou o desempenho do modelo para dimensionamento de microtubos. O EQM reduziu para 0,15 m e o EMA para 3,71%.

Entretanto, sabe-se que na tentativa de modelar o fenômeno de perda de energia no microtubo devem ser aceitos imperfeições, que decorrem da dificuldade de consideração de determinados fatores, portanto, mesmo com um desempenho inferior, optou-se por adotar o modelo para representação do fenômeno de perda de energia no microtubo com o K constante, pois a equação que considera K em função de NR e L não possui explicação física.

Na condição em que foi considerado o K constante, foi verificado que o Erro Médio Absoluto (EMA) foi superior para os microtubos de comprimentos menores. Esse erro maior nos comprimentos menores se deve às avaliações em baixas pressões, condição essa mais sensível as imprecisões nos equipamentos utilizados.

Quando foi repetido o procedimento de ajuste de K e posteriormente a estimativa dos valores de pressão para comparação com os valores obtidos em laboratório sem os comprimentos de 0,1 a 0,4 m, houve uma diminuição no EMA, de 10,41% para 4,87%. Houve também uma pequena mudança nos valores de K como pode ser observado na Tabela a seguir.

Tabela 14. Valores de K e coeficiente de determinação do ajuste obtidos com o modelo proposto sem os comprimentos de 0,1 a 0,4 m

Microtubo	r^2	K
A	0,9891	12,23
B	0,9919	11,65
C	0,9950	9,97
D	0,9960	11,00

Também foram estimados valores de pressão para diversas condições de vazão, comprimento e diâmetro, com a eq. (37). Este modelo representativo da perda de energia em tubos é utilizado para a obtenção de equações empíricas. Khatri et al. (1979) e Vermeiren & Jobling (1980) utilizaram este modelo para o ajuste dos coeficientes das equações para dimensionamento de microtubos. Os resultados podem ser observados nas Tabelas 15 e 16.

$$H = a \cdot \frac{Q^b}{d^c} \cdot L \quad (37)$$

em que:

H – perda de carga no microtubo (m.c.a.);

Q – vazão (L h⁻¹);

L – comprimento do microtubo (cm);

d – diâmetro do microtubo (mm);

“a”, “b” e “c” – coeficientes da equação empírica.

Tabela 15. Coeficientes do modelo empírico

Microtubo	r ²	a	b	c
A	0,989	0,065	1,219	35,03
B	0,997	0,099	1,216	-8,85
C	0,997	0,130	1,177	-3,84
D	0,997	0,135	1,147	-3,58

Uma comparação entre o modelo proposto (K constante), o modelo que considera K em função de L e NR e o modelo que é utilizado para obtenção de equações empíricas pode ser observada na Tabela 16.

Tabela 16. Parâmetros obtidos com base no modelo proposto, no modelo que considera K em função de L e NR e no modelo que é utilizado para obtenção de equações empíricas

Modelos	Pressão medida versus pressão estimada	r^2	EQM (m)	EMA(%)
$H = a \cdot \frac{Q^b}{\phi^c} \cdot L$	$Y = 0,998 \cdot X$	0,998	0,19	9,00
$H = H_{ftubo} + Ev + a \cdot L^b \cdot NR^c \cdot \frac{v^2}{2g}$	$Y = 0,997 \cdot X$	0,998	0,15	3,71
$H = H_{ftubo} + Ev + K \cdot \frac{v^2}{2g}$	$Y = 0,988 \cdot X$	0,993	0,29	10,41

Com base nos dados da Tabela anterior, pode-se constatar que o modelo que é utilizado para obtenção de equações empíricas obteve um desempenho próximo do modelo proposto, quando compara-se o EMA, porém quando compara-se o EQM, o mesmo obteve um erro 0,1 m menor. Dentre os três modelos o que obteve o melhor desempenho em todos os parâmetros foi o que considera K em função de L e NR.

3.4 Conclusões

De acordo com os resultados obtidos e as condições presentes neste trabalho pode-se concluir que:

- O modelo matemático proposto que considerou constante o coeficiente K da equação de perda carga localizada pode ser utilizado para representar o fenômeno de perda de energia no microtubo, o mesmo representou melhor este fenômeno do que o modelo que não considera a perda de carga localizada, portanto a perda de carga localizada é um fator que deve ser considerado;
- Isoladamente, em cada comprimento estudado houve uma relação entre K e NR. Entretanto, quando considerou-se todos os comprimentos juntos, não foi verificada esta relação. Por esta razão optou-se por adotar um valor de K constante para representação da perda de carga localizada;

- Os valores de coeficiente de perda de carga localizada K , obtidos para os quatro diâmetros, ficaram entre 8,52 e 10,68;
- Os valores dos diâmetros obtidos com base nas avaliações hidráulicas são mais confiáveis do que os valores obtidos com o Perfilômetro, logo, essa estimativa é uma alternativa viável, além de não exigir equipamentos especiais para medição do diâmetro do microtubo.

4 SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE MICROTUBOS

Resumo

Uma característica da irrigação com microtubos é a necessidade da elaboração de um projeto detalhado, onde é necessário realizar o dimensionamento individualizado de cada microtubo, de forma que a vazão dos emissores ao longo da linha lateral fique dentro dos limites aceitáveis. Para superar essa dificuldade é indispensável a utilização de uma ferramenta computacional. Dentro desse contexto, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um software para dimensionamento de microtubos. O software foi desenvolvido no ambiente de programação Delphi 3. Para o dimensionamento dos microtubos foi utilizado o modelo proposto no capítulo anterior e para a estimativa da perda de carga na linha lateral foi utilizada a fórmula Universal. O software para dimensionamento de microtubos foi desenvolvido e a sua utilização proporcionou ao projetista rapidez e precisão no dimensionamento, o que agiliza a tomada de decisões.

Summary

One characteristic of the microtubes irrigation is the need to elaborate a detailed project where it is necessary to make the individualized design of each microtube, in a way that the emitters discharge rate placed along the laterals gets in the acceptable limits. The computing tool is essential to get over this matter. Therefore, the purpose of this study was the development of a software for the microtubes design. The software

was made in Delphi 3 programming environment. The model proposed in the previous chapter was used for the microtubes design and Darcy-Weisbach equation was used for the estimative of the head loss in the laterals. The software for the microtubes design was developed and its use provided swiftness to the designer and precision in the design, quickening the decision that had to be made.

4.1 Introdução

Uma característica da irrigação com microtubos é a necessidade da elaboração de um projeto detalhado, onde é necessário realizar o dimensionamento individualizado de cada microtubo, de forma que a vazão dos emissores ao longo da linha lateral fique dentro de limites aceitáveis. Em sistemas onde são utilizados emissores comerciais não é necessário esse detalhamento.

Para superar essa dificuldade e proporcionar rapidez e precisão nos cálculos é indispensável a utilização de uma ferramenta computacional que forneça instantaneamente uma resposta ao projetista.

Sabe-se que dificilmente encontrar-se-ia programas disponíveis para o dimensionamento desse sistema de irrigação com microtubos. Nota-se, portanto, a necessidade de elaboração de um software que execute esse dimensionamento.

Antes da elaboração do software é necessário que se estabeleça uma metodologia de dimensionamento. Visto as peculiaridades desse sistema, aspectos como seqüência de dimensionamento, critérios e informações básicas são pontos importantes a serem considerados.

Dentro desse contexto, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um software, em ambiente Windows e linguagem Delphi 3.0, para dimensionamento de microtubos, com base no modelo proposto no capítulo anterior. Para uma maior precisão no dimensionamento realizado pelo software, este trabalho também teve como objetivo verificar a perda de carga localizada causada pela inserção do microtubo.

4.2 Material e métodos

O software para dimensionamento de microtubos foi desenvolvido no ambiente de programação Delphi 3. Para o dimensionamento dos microtubos foi utilizada a eq. (38) e para a estimativa da perda de carga na linha lateral foi utilizada a fórmula Universal (eq. 39).

$$H = \frac{64.v.4}{\pi.2.g} \left(\frac{L.Q}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{Q^2}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{K.Q^2}{d^4} \right) \quad (38)$$

$$H = f \frac{L V^2}{d 2g} \quad (39)$$

Para o cálculo da perda de carga, em condição de regime de escoamento turbulento ou transição, foi utilizada a equação de Blasius para estimativa do “f” da fórmula Universal. Segundo Pizarro Cabelo (1987) e Keller & Bliesner (1990) a equação de Blasius pode ser utilizada para estimativa do “f” em condições de NR entre 3.000 e 100.000. Para a estimativa do “f” na condição de regime de escoamento laminar, considerou-se $f = 64.NR^{-1}$.

Para verificação da perda de carga localizada causada pela inserção do microtubo foi realizada uma avaliação hidráulica. Foi medida a perda de carga em uma amostra de 20 m da linha lateral (LL), que possuía um diâmetro de 13,6 mm, para diversas vazões. Posteriormente, o mesmo procedimento foi repetido, sendo que desta vez foram inseridos dezenove microtubos na linha lateral. Os microtubos estavam tampados nas pontas e a inserção do mesmo na linha lateral foi de 5 mm.

No software esta perda localizada foi somada a perda de carga na linha lateral calculada com a fórmula Universal.

Os dados de entrada no software são: vazão desejada, comprimento do último microtubo da linha lateral, temperatura da água, diâmetro da linha lateral, diâmetro do microtubo, comprimento da linha lateral, espaçamento entre plantas, variação no comprimento do microtubo, número de emissores por planta, característica topográfica da linha lateral e coeficiente K de perda de carga localizada no microtubo.

O ideal para a uniformidade de aplicação de água é que cada microtubo tenha um tamanho individualizado ao longo da linha lateral, entretanto, na implantação do projeto isto causaria dificuldades, assim, a solução foi reunir trechos de comprimentos de microtubos homogêneos, admitindo-se pequenas variações na uniformidade, daí a necessidade de considerar no software a variação no comprimento do microtubo. Se admitirmos zero de variação, cada ponto de emissão de água ao longo da linha lateral terá um comprimento de microtubo e terá teoricamente 100% de uniformidade de aplicação, do contrário, se admitirmos um valor elevado na variação do comprimento do microtubo, um grande número de pontos de emissão de água terá microtubos com o mesmo comprimento, porém terá maior variação na uniformidade de aplicação.

Com relação à metodologia de dimensionamento, optou-se por iniciar o dimensionamento a partir do último microtubo. Este procedimento foi adotado, pois o dimensionamento que é iniciado no final da linha lateral é mais preciso, pois utiliza vazões calculadas e não vazões médias.

O software foi concebido para realizar a seqüência de dimensionamento descrita a seguir e apresentada nas Figuras 9 e 10:

1 - Inicia-se o dimensionamento pelo último microtubo da linha lateral. Com o modelo proposto no 3º capítulo determina-se a pressão no final da linha lateral (LL), visto que foi fornecido o comprimento e a vazão do último microtubo;

2 - Com a fórmula Universal, a vazão do último microtubo, a perda de carga ocasionada pela inserção do microtubo ($H_{f_{ins}}$) e a pressão no final da LL determina-se a pressão na linha lateral no ponto de inserção do próximo microtubo. Com esta pressão calcula-se o comprimento do microtubo por meio do modelo, para a vazão desejada.

3 - Seleciona-se um comprimento de microtubo que forneça uma vazão o mais próxima possível do valor teórico calculado e que obedeça a variação mínima do comprimento. Com o novo comprimento selecionado recalcula-se a vazão do microtubo.

4 - Com o somatório das vazões do último e do penúltimo microtubo, por intermédio da fórmula Universal e do $H_{f_{ins}}$, determina-se a pressão na linha lateral no ponto de inserção do antepenúltimo microtubo. Calcula-se o comprimento ideal para o microtubo.

Ajusta-se o comprimento conforme a variação no comprimento do microtubo e finalmente recalcula-se a vazão do microtubo com o comprimento selecionado.

5 - Segue-se o mesmo procedimento até o início da linha lateral, onde finalmente determina-se a pressão no início da mesma.

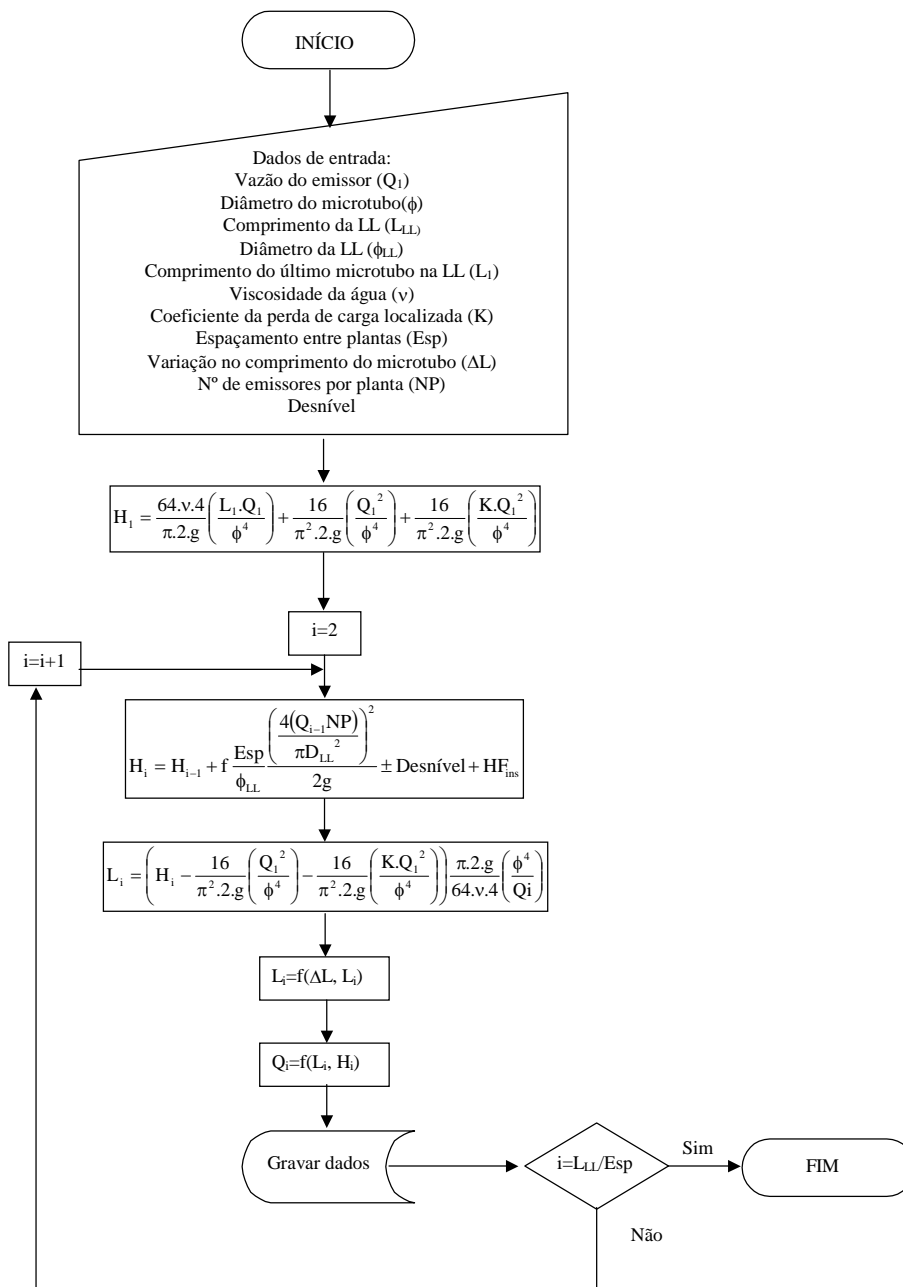


Figura 9 – Fluxograma do software desenvolvido

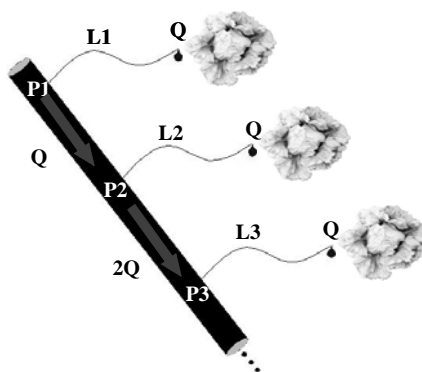


Figura 10 - Esquema utilizado para elaboração do software

4.3 Resultados e discussão

O resultado da avaliação hidráulica para a obtenção da perda de carga localizada causada pela inserção do microtubos pode ser observado na Tabela a seguir.

Tabela 17. Perda de carga localizada causada pela inserção do microtubo

Vazão (L h ⁻¹)	Perda de carga na LL com microtubos (m.c.a.)	Perda de carga na LL sem microtubos (m.c.a.)	Perda de carga localizada em cada inserção (m.c.a.)
150,7	0,290	0,248	0,002
236,9	0,604	0,549	0,003
353,6	1,197	1,106	0,005
456,4	1,890	1,729	0,008
534,7	2,494	2,280	0,011
616,7	3,137	2,927	0,011
666,7	3,578	3,355	0,012
698,5	3,931	3,640	0,015
732,8	4,284	3,959	0,017
751,1	4,435	4,133	0,016

Com base no resultado da Tabela anterior obteve-se a eq. (40) para cálculo da perda de carga localizada por emissor em função da velocidade da água no trecho, cujo coeficiente de determinação (r^2) foi de 0,956.

$$Hf_{ins} = 0,00963.V^{1,44} \quad (40)$$

em que:

$H_{f_{ins}}$ – perda de carga localizada causada pela inserção de um microtubo (m.c.a.);

V – velocidade da água no trecho ($m\ s^{-1}$).

A tela inicial do software pode ser observada na Figura 11. Na caixa “Entrada de dados” estão todas as informações que o usuário deve fornecer para o dimensionamento. Nesta caixa o usuário pode também verificar o regime de escoamento no microtubo.

Ao lado da caixa “Entrada de dados” está a caixa “Característica topográfica da linha lateral” (Figura 11). Nesta o usuário fornece a característica topográfica da linha lateral. O usuário tem três alternativas para caracterização: declive ou aclave constante, declive ou aclave irregular ou terreno em nível.

Figura 11 – Tela inicial do software

Caso o usuário opte por “Declive ou aclave constante”, o software solicita que sejam fornecidas a inclinação do terreno e a cota do primeiro microtubo. Em seguida,

para que o software calcule as cotas de todos os emissores na linha, basta pressionar o botão “OK” (Figura 12).

Característica topográfica da linha lateral

Declive ou aclave constante
 Declive ou aclave irregular
 Terreno em nível

Digite
 Inclinação (%):

 + para aclave
 - para declive
 Cota do 1º emissor (m):

Emissor			Cota		Dif. de nível	
Emissor	Cota(m)	Desnível(m)				
NÓ	100					
1	100,07	0,066				
2	100,13	0,066				
3	100,20	0,066				
4	100,26	0,066				
5	100,33	0,066				

Figura 12 – Procedimento para seleção do declive ou aclave constante

Caso o projetista queira detalhar o relevo da linha basta selecionar a opção “Declive ou aclave irregular” e fornecer as cotas de todos os microtubos. Depois basta pressionar o botão “Calcular desnível” que o software calcula o desnível entre os pontos (Figura 13).

Característica topográfica da linha lateral

Declive ou aclave constante
 Declive ou aclave irregular
 Terreno em nível

Digitar cotas

Emissor			Cota		Dif. de nível	
Emissor	Cota(m)	Desnível(m)				
NÓ						
1						
2						
3						
4						
5						

Figura 13 – Procedimento para seleção do declive ou aclave irregular

Caso o terreno seja plano basta selecionar a opção “Terreno em nível” e pressionar o botão “OK” (Figura 14).

Característica topográfica da linha lateral

Declive ou alicve constante
 Declive ou alicve irregular
 Terreno em nível

Digite

Cota do terreno

100

OK

Emissor	Cota	Dif. de nível
Emissor	Cota(m)	Desnível(m)
NÓ	100,00	
1	100,00	0,0
2	100,00	0,0
3	100,00	0,0
4	100,00	0,0
5	100,00	0,0

Figura 14 – Procedimento para seleção do terreno em nível

Após definir a característica topográfica da linha lateral basta clicar no botão “Dimensionar Linha Lateral” e o software fornece uma tabela com as pressões ao longo da linha, os comprimentos e as vazões dos microtubos. Automaticamente um arquivo chamado “Resultado.txt” é salvo na mesma pasta onde está sendo rodado o arquivo executável do software. Este arquivo fornece o resultado do dimensionamento no formato texto. A cada novo dimensionamento o arquivo é renovado.

O software também fornece: somatória dos comprimentos dos microtubos, vazão mínima, vazão média, vazão máxima, coeficiente de variação de vazão, variação de vazão (%) e Uniformidade de distribuição.

O software para dimensionamento de microtubos está disponível no “site”: www.ciagri.usp.br/~tabotrel.

A seguir apresenta-se um exemplo do dimensionamento de uma linha lateral com os dados a seguir:

-Dados:

Vazão do emissor: 4 L h⁻¹;

Comprimento do último microtubo na linha lateral: 1 m;

Temperatura da água: 20°C;

Diâmetro do microtubo: 1,063 mm;
 Coeficiente “K” da perda de carga localizada: 8,52;
 Diâmetro da linha lateral: 13,6 mm;
 Comprimento da linha lateral: 99 m;
 Espaçamento entre plantas: 3,3 m;
 Variação no comprimento do microtubo: 0,1 m;
 Nº de emissores por planta: 4;
 Característica topográfica: Linha lateral em nível;

Além dos dados de entrada foi considerado que a pressão no início da linha lateral deveria ser 85 kPa e a variação máxima de vazão na linha lateral 5%.

Após a introdução dos dados executou-se o software para a obtenção dos resultados apresentados nas Figuras 15 e 16. Com estes dados a pressão no início da linha lateral foi de 75,9 kPa e a variação de vazão na linha lateral foi de 4,75%.

Dimensioamento
 Autores: Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza
 Tarlei Arriel Botrel

Entrada de dados

Vazão do emissor (L/h) = 4
 Comprimento do último microtubo (m) = 1
 Temperatura da água (°C) = 20
 Diâmetro do microtubo (mm) = 1,063
 Coefic. de perda de carga localizada (K) ** = 8,52
 Diâmetro da linha lateral (mm) = 13,6
 Comprimento da linha lateral (m) = 99
 Espaçamento entre plantas (m) = 3,3
 Variação no comprimento do microtubo (m) = 0,1
 Nº de emissores por planta = 4
 Regime: Laminar

Resultados

Emissor	Comp.(cm)	Vazão(L/h)	Pressão(mca)	Comp.LL(m)
NÓ	----	----	7,59	0,00
1	180,00	4,08	7,32	3,30
2	180,00	3,95	7,05	6,60
3	170,00	4,00	6,80	9,90
4	160,00	4,06	6,56	13,20
5	160,00	3,94	6,34	16,50

Característica topográfica:

Vazão máxima (L/h) = 4,13
 Vazão mínima (L/h) = 3,87
 Variação de vazão (%) = 4,75
 Media (L/h) = 4,01
 CV (%) = 1,62
 UD (%) = 97,78

Soma dos comp. dos microtubos(m) = 148,40

Dimensioar Linha Lateral

** H = Hf tubo + Energia de velocidade + Hf localizada
 ** Hf localizada = K · V² / 2g

Figura 15 – Exemplo de dimensionamento

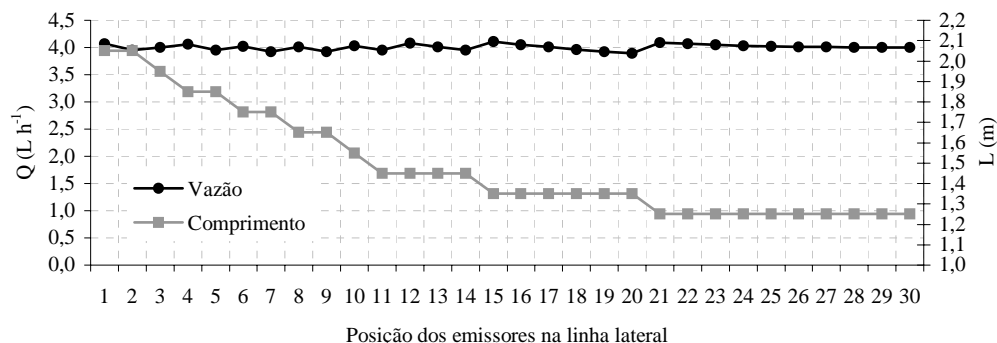


Figura 16 – Resultado do dimensionamento

Para atingir a pressão desejada no início da linha lateral, basta ajustar o comprimento do último microtubo. Como pode ser observado na figura a seguir, para atingir uma pressão de 84,8 kPa no início da linha ajustou-se o comprimento do último microtubo para 1,25m.

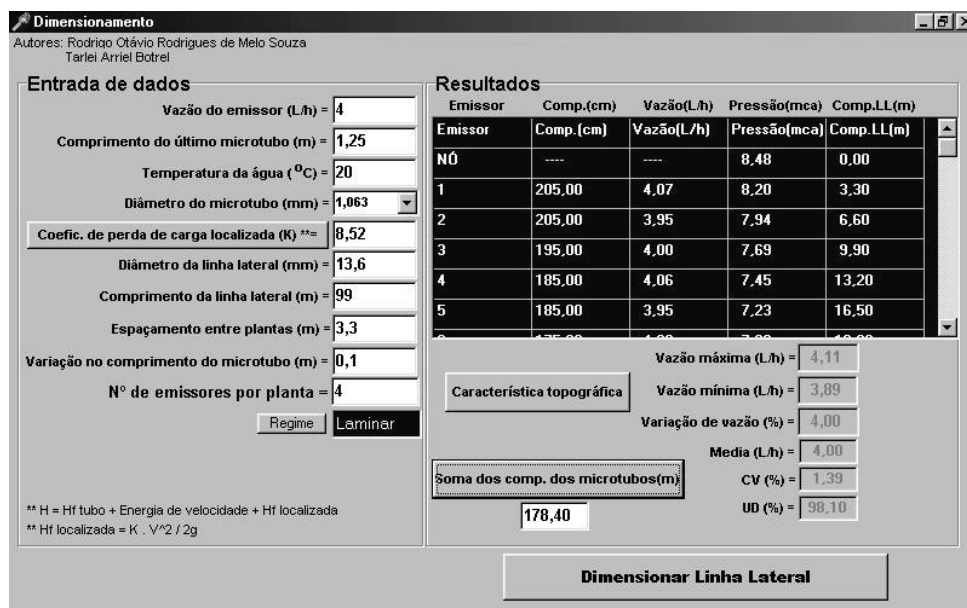


Figura 17 – Ajuste da pressão no início da linha lateral

No software o projetista também pode selecionar a variação máxima de vazão na linha lateral, conforme a variação no comprimento do microtubo. Para a variação no comprimento do microtubo (ΔL) de 0,1 m a variação de vazão na linha lateral foi de 4%,

para variações no comprimento de 0,05; 0,15 e 0,20 m as variações de vazão foram respectivamente de 1,75; 6,00 e 6,75%.

O software proporcionou precisão e rapidez no dimensionamento de linhas laterais com microtubos. Esta eficiência do software foi comprovada no dimensionamento de duas áreas experimentais com microtubos. Uma com 38 m² (alface) e a outra com 5 ha (citros), conforme se apresenta na seqüência.

4.4 Conclusões

O software para o dimensionamento de linhas laterais com microtubos proporcionou precisão e rapidez, o que agiliza a tomada de decisões. Devido a sua forma de concepção, o mesmo permite que o dimensionamento seja particularizado para cada condição em que se encontra a linha lateral. A abrangência do software permite que o projetista selecione a vazão dos emissores, n° de emissores por planta, o comprimento da linha lateral, pressão no início da linha lateral e a variação de vazão na linha. A equação obtida para determinação da perda de carga localizada ocasionada pela inserção do microtubo representou bem os dados experimentais.

5 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR GRAVIDADE COM MICROTUBOS

Resumo

Os objetivos deste trabalho foram: dimensionar, implantar e avaliar um sistema de irrigação com microtubos por gravidade; e apresentar o custo do sistema com microtubos comparando-o com o custo do “kit” para irrigação localizada por gravidade, disponível no mercado. O experimento foi dividido em duas etapas, sendo que a primeira consistiu no dimensionamento, elaboração, montagem e avaliação do sistema de irrigação. A segunda etapa consistiu na implantação da cultura da alface em três canteiros, onde em dois canteiros a água foi fornecida por uma caixa d’água elevada a uma altura de 1 m e distribuída para as alfaces através dos microtubos. No outro canteiro a irrigação foi realizada através de um regador. Conforme os resultados observados o sistema obteve ótimo desempenho. Além de aplicar água com 97% de Uniformidade de Distribuição, também ficou provado que o microtubo foi fabricado com qualidade e uniformidade. O custo total do sistema para a irrigação de 16 canteiros ficou em R\$ 466,77. A proposta de utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos por gravidade demonstrou ser uma alternativa viável tanto tecnicamente quanto economicamente para os pequenos produtores.

Summary

The purposes of this study were: to design, implant and evaluate a gravity irrigation system with microtubes; and to show the cost of the system with microtubes compared to the cost of the “kit” for gravity drip irrigation commercialized by the irrigation companies. The experiment was split in two stages, where the first one consisted in the design, elaboration, assembly and evaluation of the irrigation system. The second stage consisted in the implantation of the lettuce culture in three flowerbeds, where in two of them the water was provided by a water reservoir of 1 m high and distributed for the lettuces through the microtubes. In the other flowerbed the irrigation occurred through a watering can. According to the results the system achieved a great performance. Besides applying water with 97% of distribution uniformity, it has also been proved that the microtube was manufactured with quality and uniformity. The total cost for implementing the irrigation system in 16 flowerbeds was R\$ 466,77. The proposition for the use of the gravity drip irrigation system with microtubes turned out to be a possible choice both technically as economically for small farmers.

5.1 Introdução

No Brasil, e nos demais países em desenvolvimento, um grande número de pessoas vivem em comunidades carentes no meio rural. Em países como Índia, Kênia e Bangladesh, órgãos internacionais promovem o desenvolvimento destas comunidades por meio do ensinamento de práticas compatíveis com o nível econômico-social dos fazendeiros (Mackay, 2003).

Uma prática bastante utilizada por estes órgãos é a irrigação localizada por gravidade. Baldes, tonéis ou caixas d’água são elevados a um metro de altura para o fornecimento de água em pequenas áreas.

O sistema normalmente é composto por linhas laterais de polietileno e emissores do tipo microtubo.

Segundo Keller et al. (2001), muito desenvolvimento já foi alcançado no mundo com a utilização deste sistema. No Brasil nota-se potencial para o desenvolvimento desta técnica, o que promoveria o desenvolvimento sócio-econômico de inúmeras comunidades carentes, sem elevados custos iniciais e operacionais.

Para a devida disseminação dessa prática é necessário obter primeiro um embasamento técnico e um maior conhecimento das dificuldades operacionais e financeiras. Desta forma, foi realizado um experimento onde foi utilizada a irrigação localizada por gravidade para fornecer água para canteiros de alface. Os objetivos deste trabalho foram:

- Dimensionar, implantar e avaliar um sistema de irrigação com microtubos por gravidade que proporcionasse economia de mão-de-obra, facilidade no manuseio e manutenção;
- Apresentar o custo do sistema com microtubos e comparar com o custo do “kit” para irrigação localizada por gravidade, disponível no mercado.

5.2 Material e métodos

O trabalho foi realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, em Piracicaba (SP). O experimento foi dividido em duas etapas, sendo que a primeira foi realizada no período entre agosto e outubro de 2003 e consistiu no dimensionamento, elaboração, montagem e avaliação do sistema de irrigação.

A segunda etapa consistiu na implantação da cultura da alface em três canteiros, onde em dois destes canteiros a água era fornecida por uma caixa d'água elevada a uma altura de 1 m e distribuída para as alfaces através dos microtubos (Figura 18). No outro canteiro a irrigação foi realizada por meio de um regador, forma tradicionalmente utilizada pelos pequenos produtores.

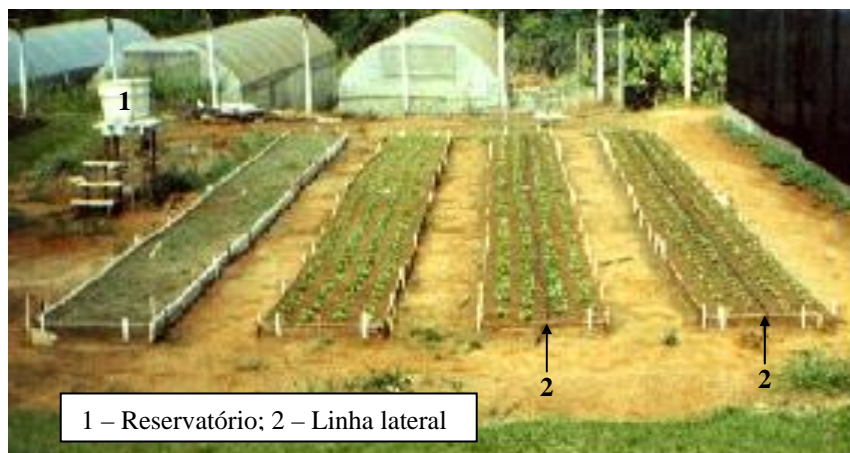


Figura 18 - Visualização geral do experimento

Para a verificação da viabilidade técnica do sistema foram obtidos os seguintes parâmetros: Uniformidade de Distribuição (UD) (antes do plantio e depois da colheita), Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF) do emissor e produtividade da cultura. Em complemento a estes parâmetros também foi apresentado o custo de investimento do sistema com microtubos.

De uma forma geral foi levado em consideração no planejamento e implantação do sistema alguns requisitos técnicos para o sucesso deste sistema de irrigação de baixo custo para pequenos produtores:

- O sistema deve ser dimensionado utilizando os melhores componentes disponíveis dando preferência para a indústria local;
- O sistema deve ser simples e facilmente entendido de forma que possa ser montado e consertado pelo usuário;
- As pressões de serviço devem ser de 10 a 20 kPa para sistemas pequenos;
- O sistema deve prover uma alta uniformidade de aplicação.

5.2.1 Dimensionamento

Devido a baixa altura da caixa de alimentação, o que proporciona baixa disponibilidade de pressão, o dimensionamento do sistema foi realizado de forma a obter

uma vazão nos microtubos que evitasse entupimentos e gastos elevados de energia nas linhas de derivação, lateral e no filtro.

Para atender a estes requisitos foi selecionada uma vazão de 1 L h^{-1} para os microtubos. O dimensionamento do sistema foi efetuado utilizando o software elaborado em linguagem Delphi apresentado no 4º capítulo.

Para seleção do diâmetro do microtubo foram considerados os seguintes aspectos: com uma pressão disponível de aproximadamente 10 kPa o microtubo deve fornecer uma vazão de 1 L h^{-1} e o comprimento do microtubo não deve ser menor que o comprimento mínimo estipulado.

O microtubo deveria possuir no mínimo um comprimento que possibilitasse a irrigação das alfaces que estivessem localizadas nas extremidades do canteiro.

Na seleção dos diâmetros da linha de derivação (LD) e da linha lateral (LL) levou-se em consideração os fatores perda de carga e custo. Desta forma foram selecionados diâmetros que provocassem uma perda de carga reduzida, sem onerar os custos. Para filtragem da água foi utilizado um filtro de discos de 130 mesh.

5.2.2 Implantação e condução

Após o dimensionamento do sistema de irrigação e determinação da altura da caixa d'água em relação ao solo, iniciou-se a construção da parte estrutural do mesmo e em seguida a instalação deste na área experimental.

O croqui do sistema de fornecimento de água e os materiais utilizados estão esquematizados na Figura 19.

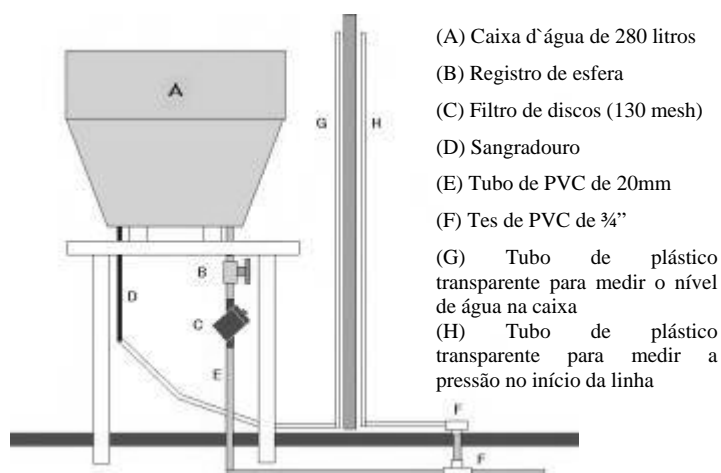


Figura 19 - Sistema de fornecimento de água por gravidade

Dos três canteiros utilizados, dois foram irrigados através do sistema com microtubos e no outro canteiro a irrigação foi realizada manualmente com um regador, a fim de quantificar o tempo gasto para a irrigação manual do canteiro. A distribuição do sistema na área experimental está representada pela Figura 20.

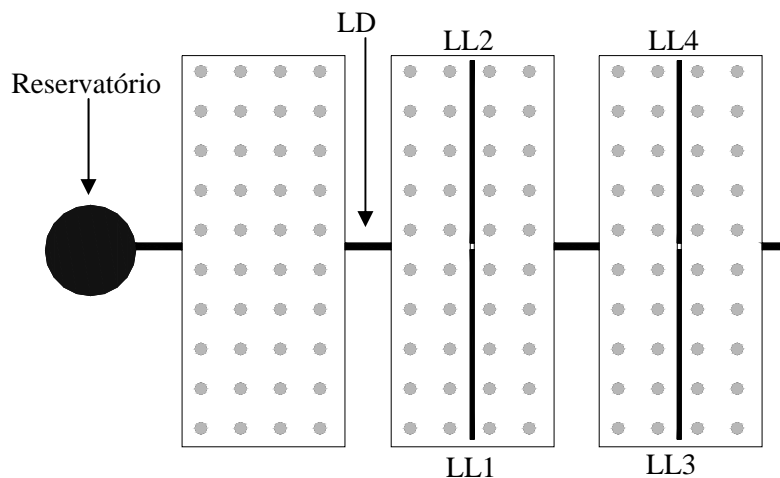


Figura 20 - Disposição do sistema de irrigação no campo

Para cada alface foi instalado um microtubo (Figura 21a). Para inserção dos microtubos na linha lateral foram realizados furos de 2 mm com vazador. Para evitar o

jato d'água e melhorar fixação foram colocados na ponta do microtubos anéis de 13,6 mm de polietileno e fixadores de plástico enterrados (Figura 21b).

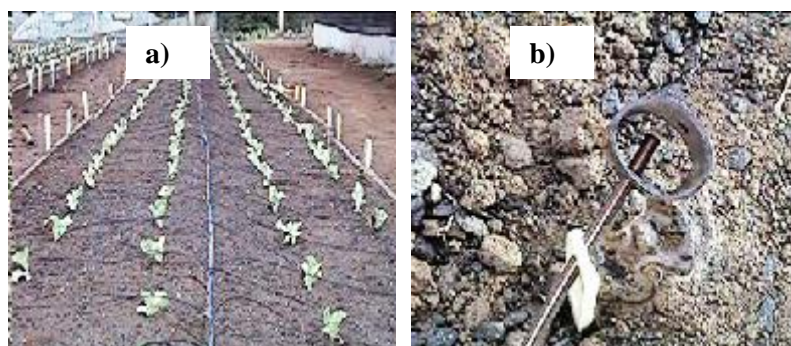


Figura 21 - a) canteiro irrigado com microtubo; b) detalhe da ponta do microtubo

O manejo de irrigação foi realizado com base nos dados de evaporação do tanque classe “A” e precipitação pluviométrica. Tanto o tanque classe “A” quanto o pluviômetro estavam localizados bem próximos ao experimento (menos de 20 m). Com os dados de evaporação do tanque foi obtida a Evapotranspiração de Referência, e a partir da desta foi calculada a Evapotranspiração da Cultura. Para o manejo foram utilizados os valores de K_c (coeficiente de cultivo) recomendados por Gomes (2001): do transplântio aos 16 dias seguintes: $K_c = 0,48$; do final da fase anterior aos 37 dias após o transplântio: $K_c = 0,8$; do final da fase anterior até a colheita: $K_c = 0,88$.

Na segunda fase do experimento, com início no dia 08/10/2003, realizou-se o plantio das mudas. A hortaliça escolhida para cultivo foi a alface (*Lactuca sativa* L.) da variedade “Tainá”, em 3 canteiros de 1,25 x 15 m com espaçamento de 0,30 x 0,30 m resultando em 192 alfaces por canteiro.

As mudas foram produzidas por viveirista da região e formadas em bandejas de isopor de 12x24 células, sendo transplantadas com cerca de um mês após a semeadura e tendo 2 a 3 pares de folhas.

De acordo com a análise química do solo não foi necessário fazer correção de acidez nem elevar a Saturação por Bases, uma vez que a cultura da alface requer pH entre 6,0 e 6,8 e V% maior que 80%.

A adubação de pré-plantio foi feita com 60 t ha⁻¹ de esterco e a adubação mineral dos canteiros foi realizada também com base na análise química do solo. A adubação em cobertura foi realizada aplicando-se 70 kg ha⁻¹ de N, na forma de nitrato de cálcio via água de irrigação, parcelada em três vezes, aos 10, 20 e 30 dias após o transplante das mudas. Foi escolhida esta fonte de nitrogênio devido à sua alta solubilidade em água e pela grande afinidade desta hortaliça ao fornecimento de cálcio, o qual promove um melhor desenvolvimento vegetativo e evita a queima das bordas das folhas por deficiência.

A colheita das alfaces foi realizada no dia 22 de Novembro de 2003 assim que as mesmas atingiram o desenvolvimento suficiente para a colheita.

5.2.3 Avaliação hidráulica

Para a verificação do desempenho hidráulico do sistema foram realizadas três coletas de vazão. Duas para a quantificação da UD (antes do plantio e depois da colheita) e a outra para obtenção do CVF do microtubo.

Para a determinação da UD foi coletado o volume total aplicado em 16 coletores (4 em cada linha). Foram avaliados quatro emissores igualmente espaçados na LL, partindo-se do primeiro emissor da linha. O tempo de coleta nesta avaliação correspondeu ao tempo total de esvaziamento da caixa d'água. Para o cálculo do CVF do emissor foram coletados os volumes aplicados por 60 microtubos durante um tempo de 10 min.

A UD e o CVF foram determinados com base nas equações a seguir:

$$UD = 100 \cdot \frac{q_{\min}}{q_{\text{med}}} \quad (41)$$

em que:

UD - Uniformidade de Distribuição, em %;

q_{\min} - media de 25% das menores vazões;

q_{med} - médias de todas as vazões.

$$CVF = \frac{\sigma}{q_{med}} \quad (42)$$

em que:

CVF - coeficiente de variação de fabricação;

σ - desvio padrão das vazões.

Além da UD e do CVF outro coeficiente de uniformidade utilizado para a determinação do desempenho do sistema foi o de Uniformidade Estatística (Uest). Keller et al. (2001) recomendam a utilização deste coeficiente na representação da uniformidade de pequenos sistemas de irrigação localizada:

$$Uest = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{q_{med}} \right) \quad (43)$$

em que:

Uest - Uniformidade Estatística (%).

Para a verificação da variação da vazão nos emissores, conforme o esvaziamento da caixa, também foram coletadas vazões medindo-se o volume acumulado em doze coletores aos 3, 9 e 11 minutos após a abertura do registro. Para representação da variação da vazão ao longo do esvaziamento da caixa foi utilizada a eq. (44). A justificativa para a utilização desta equação foi apresentada no Anexo A.

$$Q(L \cdot \text{min}^{-1}) = e^{\left(\frac{T(\text{min}) - C_2}{C_1} \right)} \quad (44)$$

em que:

Q – vazão de esvaziamento;

T – tempo;

C_1 e C_2 – constantes.

5.2.4 Avaliação da produção

Além da avaliação hidráulica, outro parâmetro de suma importância para a avaliação da viabilidade do sistema é a quantificação da produtividade final obtida. Para tanto foram obtidos pesos úmidos da parte aérea de 16 alfices. Sabe-se que a produtividade não depende apenas do sistema de irrigação, entretanto esta é uma informação importante para a avaliação do desempenho do sistema.

5.2.5 Custos

Devido a preocupação em disseminar esta técnica entre comunidades carentes, foi apresentado o custo de investimento do sistema proposto. Esse custo também foi comparado ao custo do “kit” para irrigação localizada por gravidade. Como são poucas as empresas que comercializam este tipo de “kit”, realizou-se a cotação do tubogotejador comercial utilizado no “kit” com uma empresa.

5.3 Resultados e discussão

O dimensionamento do sistema foi realizado com o auxílio do software desenvolvido no 4º capítulo. Para o dimensionamento foi considerada uma pressão de 16 kPa conforme pode-se observar na Figura 22. Foi selecionado um microtubo com 0,8 mm de diâmetro. Em virtude do reduzido tamanho da LL todos os microtubos ao longo da LL permaneceram com 60 cm.

O comprimento mínimo do microtubo considerado no dimensionamento foi de 0,55 m. Exatamente os 0,45 m para irrigar as alfices das extremidades mais uma folga de 0,1 m.

O filtro de discos de 130 mesh, provocou uma perda de carga de 0,1 m para a vazão de dois canteiros (384 L h^{-1}). As linhas de derivação (LD) e lateral (LL) foram respectivamente de 20 mm e 13,6 mm. Sendo a LD de PVC predial (marrom) enterrada e a LL de polietileno (PE).

Dimensionamento
 Autores: Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza
 Tarlei Arriel Botrel

Entrada de dados

Vazão do emissor (L/h) = 1
 Comprimento do último microtubo (m) = 0,6
 Temperatura da água (°C) = 20
 Diâmetro do microtubo (mm) = 0,835
 Coefic. de perda de carga localizada (K) **= 10,68
 Diâmetro da linha lateral (mm) = 13,6
 Comprimento da linha lateral (m) = 7,5
 Espaçamento entre plantas (m) = 0,3
 Variação no comprimento do microtubo (m) = 0,1
 N° de emissores por planta = 4
 Regime: Laminar

Resultados

Emissor	Comp.(cm)	Vazão(L/h)	Pressão(mca)	Comp.LL(m)
NÓ	----	----	1,61	0,00
1	60,00	1,02	1,60	0,30
2	60,00	1,02	1,59	0,60
3	60,00	1,02	1,59	0,90
4	60,00	1,02	1,58	1,20
5	60,00	1,02	1,58	1,50

Vazão máxima (L/h) = 1,02
 Vazão mínima (L/h) = 1,00
 Variação de vazão (%) = 2,00
 Media (L/h) = 1,01
 CV (%) = 0,81
 UD (%) = 99,34

Soma dos comp. dos microtubos(m) = 57,60

Dimensionar Linha Lateral

** H = Hf tubo + Energia de velocidade + Hf localizada
 ** Hf localizada = K · V² / 2g

Figura 22 – Tela do software com os dados utilizados para o dimensionamento dos microtubos

Para obtenção da UD foram realizadas duas avaliações hidráulicas do sistema. Uma antes do plantio e a outra após a colheita da alface. Os resultados das duas avaliações podem ser observados na Tabela 18. Os tempos de coleta foram de 27,54 min e 10 min para a primeira e segunda avaliação respectivamente.

Tabela 18. Vazão dos microtubos, antes do plantio e depois da colheita

Época	Linhas Laterais	Vazões medidas (L h ⁻¹)			
		1	2	3	4
Antes do plantio	1	0,99	1,02	1,00	1,01
	2	1,18	1,02	1,01	1,02
	3	1,01	1,02	1,00	0,97
	4	1,02	1,04	1,04	1,02
Após colheita	1	1,10	1,08	1,08	1,08
	2	1,16	1,10	1,06	1,08
	3	1,07	1,10	1,08	1,09
	4	1,08	1,04	1,04	1,07

Com base nos dados da Tabela 18, o sistema apresentou uma UD de 96,8% na primeira avaliação e 97,0% na segunda, valores considerados excelentes por Clemmens & Solomon (1997). Pode-se acrescentar que a elevada uniformidade também se deve ao pequeno comprimento da linha lateral.

Conforme o critério de classificação dos valores de Uest, para sistemas de irrigação localizada de baixo custo e pequenas áreas, proposto por Keller et al. (2001), o desempenho do sistema pode ser considerado excelente, visto que os valores de Uest para as avaliações antes do plantio e após a colheita foram respectivamente 95,7% e 97,4%.

De acordo com Keller & Bliesner (1990) sistemas de irrigação por gotejamento convencional em áreas relativamente pequenas com topografia uniforme devem ser projetados para produzir valores de Uest acima de 88%, o que também comprova o bom desempenho do sistema.

De uma forma geral os valores coletados de vazão foram ligeiramente superiores na segunda avaliação, o que se deve ao menor tempo de coleta, pois no início do esvaziamento da caixa as pressões são maiores e conseqüentemente as vazões também.

Justamente para se obter esta variação foram coletados os dados de vazão durante o esvaziamento do reservatório. O resultado pode ser observado na Tabela 19 e na Figura 23.

Tabela 19. Variação de vazão dos microtubos após abertura do registro

Linha	Vazões (L h ⁻¹)		
	3 min	11 min	19 min
Linha 1	1,19	1,15	1,08
Linha 2	1,23	1,15	1,11
Linha 3	1,20	1,13	1,05
Linha 4	1,20	1,14	1,08
Média	1,21	1,14	1,08

Para representação da variação da vazão ao longo do esvaziamento da caixa foi utilizada a eq. (45) (Figura 23).

$$Q(\text{L} \cdot \text{min}^{-1}) = e^{\left(\frac{T(\text{min})-290,8}{-140,66}\right)} \quad (45)$$

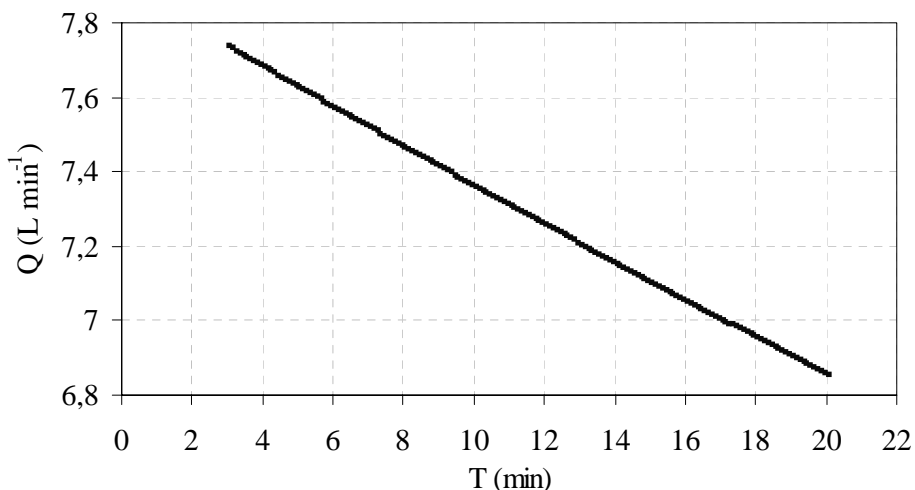


Figura 23 - Representação da variação de vazão do sistema após abertura do registro

O emissor apresentou um CVF de 2,3%, valor considerado excelente segundo Solomon (1979). O que comprova a qualidade de fabricação do microtubo. Esta informação é muito importante, pois garante ao projetista que a qualidade do emissor não está entre as possíveis causas da baixa uniformidade de vazão no sistema.

Como pode ser observado o sistema obteve ótimo desempenho. Além de aplicar água com 97% de UD, o microtubo também foi fabricado com qualidade.

Os valores medidos de vazão ficaram próximos do valor da vazão de projeto (1 L h⁻¹), o que demonstra a qualidade do modelo matemático utilizado no dimensionamento dos microtubos.

Durante a condução do experimento pode-se relatar as seguintes considerações sobre o funcionamento do sistema:

- Nas poucas vezes em que ocorreram entupimentos nos emissores, os microtubos foram facilmente desobstruídos. No início, devido ao tamanho reduzido da alface, a verificação do entupimento foi facilmente realizada pela visualização do bulbo molhado no solo, a partir de um determinado estágio de desenvolvimento esta verificação não foi realizada, pois a cultura cobriu toda a superfície do solo (Figura 24);



Figura 24 - Visualização do bulbo molhado

- A não utilização do sistema em um dos canteiros demonstrou a nítida diferença em relação ao gasto com mão-de-obra. Para uma irrigação de 5 mm com regador, em um canteiro de 15x1,25 m, foram gastos entre 14 e 15 min;
- A utilização deste sistema facilitou bastante a aplicação de fertilizantes. As três aplicações necessárias de nitrogênio foram realizadas através do sistema de irrigação;
- O manejo da irrigação foi favorecido pela utilização deste sistema, devido a possibilidade de um maior controle do volume de água a ser aplicado. Para facilitar o manejo, do lado externo da caixa existia uma marcação informando a correspondência em lâmina do volume de água (Figura 25).



Figura 25 - Reservatório com marcação informando a correspondência em lâmina do volume de água

Quanto ao peso das alfases colhidas, obteve-se o valor médio de 920g. Não houve diferença de produtividade entre os três canteiros. Mesmo que este resultado não possa ser atribuído a utilização deste sistema, deve ser ressaltado o alto valor obtido de produtividade. Isto comprova que é possível obter uma produtividade elevada com a utilização de técnicas de irrigação de baixo custo e pouca mão-de-obra.

5.3.1 Custos

Inicialmente apresenta-se abaixo uma lista de material com os equipamentos utilizados no experimento e seus devidos custos (Tabela 20).

Tabela 20. Lista dos componentes e peças utilizados no sistema de irrigação e seus respectivos custos

Material	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Total (R\$)
Adaptador (20 mm x ½")	2 un	0,18	0,36
Tes (20 mm)	2 un	0,30	0,60
Caixa d'água	1 un	70,00	70,00
Tubo PVC (20 mm)	6,75 m	0,94	6,35
Filtro de discos (130 mesh)	1 un	95,00	95,00
União (20 mm)	1 un	1,80	1,80
Tes (½")	2 un	0,77	1,54
Registro (20 mm)	1 un	6,31	6,31
Flange (20 mm)	1 un	3,26	3,26
Linha lateral (13,6 mm)	30 m	0,25	7,60
Adaptadores para mangueira (3/8")	4 un	0,48	1,92
Microtubo	230,4 m	0,09	21,00

O custo total para a implantação do sistema de irrigação foi de R\$ 215,73. Como pode ser observado nota-se um grande peso do reservatório e do filtro no custo total do sistema, ambos representam 76% do custo total. Com a utilização de soluções alternativas para armazenamento de água e filtragem o peso destes componentes no custo total do sistema pode ser reduzido.

Como o reservatório e o filtro representam grande parte do custo aconselha-se realizar o aproveitamento máximo destes componentes, ou seja, irrigar o maior número possível de canteiros com um filtro e um reservatório. Desta forma a área irrigada seria maior, o custo total não aumentaria muito, o que resultaria em um maior rendimento econômico. Este sistema de abastecimento (reservatório e filtro) tem potencial para irrigar até 16 canteiros. Nesta condição o custo total seria de R\$ 466,77, sendo o reservatório e o filtro responsáveis por 35% deste valor.

Com o intuito de oferecer alternativas de baixo custo para o armazenamento e filtragem da água estão sendo conduzidos pelo grupo de orientados (Pós-graduação e Iniciação Científica) do Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel dois trabalhos: “Utilização de pneus para o armazenamento de água para irrigação” (Figura 26), e “Construção e avaliação de um filtro de areia de pequeno porte e baixo custo”.



Figura 26 – Pneus para armazenamento de água

Algumas empresas de irrigação possuem “kits” para irrigação localizada por gravidade. Entretanto, esses sistemas utilizam tubos-gotejadores ao invés de microtubos, o que proporciona um aumento no custo e uma diminuição da flexibilidade do sistema.

Considerando que seriam necessárias no mínimo duas linhas de tubos-gotejadores por canteiro, que possui quatro linhas de plantio, seriam necessários 480 m de tubos-gotejadores em 16 canteiros (gotejador a cada 0,4 m). Portanto o gasto com

tubos-gotejadores seria de R\$ 504,48. No caso do microtubo, onde foi instalado um emissor para cada alface, o que proporciona um molhamento de 100% da área, o custo com linha lateral e emissores para a mesma condição seria de R\$ 229,80 (R\$ 169,00 com linha lateral e R\$ 60,80 com microtubos).

A utilização de linhas laterais com microtubos proporcionaria uma economia de 45,6% no gasto com emissores e linhas laterais, em relação à utilização do tubo-gotejador comercial.

Com base na experiência obtida com o experimento, apresenta-se a seguir algumas estratégias para redução do custo neste sistema:

- baixa pressão (10-20 kPa), que além de eliminar o custo de bombeamento é apropriado para a utilização de microtubos;
- utilizar emissores de baixo custo que possam ser facilmente desobstruídos pelos fazendeiros, o que possibilita a utilização de filtros de construção artesanal;
- utilizar componentes baratos da indústria local;
- minimizar a utilização de laterais, uma para várias linhas de plantio.

Acredita-se que fornecimento deste tipo de irrigação para famílias que tem acesso a pequenas áreas é uma importante contribuição para a redução da pobreza em áreas rurais, tanto devido ao seu potencial de conservação dos recursos hídricos quanto devido ao seu potencial de aumento de produtividade.

5.4 Conclusões

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foi realizado este trabalho, pode-se concluir que:

- A proposta de utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos por gravidade demonstrou ser uma alternativa viável tanto tecnicamente quanto economicamente. Viável tecnicamente devido ao excelente desempenho

hidráulico do sistema (UD=97%) e viável economicamente devido ao baixo custo de investimento, mão-de-obra e operação do sistema;

- O custo total do sistema para a irrigação de 16 canteiros foi de R\$ 466,77;
- A utilização de linhas laterais com microtubos proporciona uma economia de 45,6% no gasto com emissores e linhas laterais, em relação à utilização do tubogotejador comercial;
- Foi notada a facilidade de instalação e manutenção do sistema, o que se enquadra bem no perfil dos possíveis operadores em pequenas propriedades e comunidades carentes.

6 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA COM MICROTUBOS EM UM POMAR DE CITROS

Resumo

Os objetivos deste trabalho foram: verificar o desempenho hidráulico de um sistema de irrigação com microtubos em um pomar de citros; realizar simulações hidráulicas para verificar a influência da temperatura da água no desempenho do sistema e apresentar o custo das linhas laterais com microtubos comparando com o custo caso fossem utilizados tubos-gotejadores. Para verificação da viabilidade técnica da utilização de microtubos em um pomar de citros, foi instalado um sistema de irrigação com microtubos de tamanhos variados como emissores. A proposta de utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos demonstrou ser uma alternativa viável tecnicamente para pomares. A utilização de linhas laterais com seis microtubos por planta proporciona uma economia de 45,7% no gasto com emissores e linhas laterais, em relação a utilização de tubos-gotejadores. Dentro das condições estudadas, a vazão média foi o parâmetro que sofreu a maior influência com a variação de temperatura. A cada 5°C de aumento na temperatura da água, a vazão média aumentou em 5%, já a Uniformidade de Distribuição de água sofreu um efeito reduzido, visto que um aumento de 5°C reduziu em apenas 1,2% o seu valor.

Summary

The purposes of this study were: to verify the hydraulic performance of an irrigation system with microtubes in a citrus orchard; to conduct hydraulic simulations in order to check the influence of water temperature on the system's performance; and to show the cost of laterals with microtubes comparing to the cost in case the in line emitters were used. In order to verify the technical viability of the utilization of microtubes in a citrus orchard, an irrigation system with microtubes of different sizes used as emitters, was installed. The proposition for the use of the localized irrigation system with microtubes proved to be a technical and viable alternative for orchards. The use of laterals with six microtubes per plant would result in an economy of 45.7% in the expenses with emitters and laterals regarding the use of in line emitters. In the analyzed conditions, temperature variation influences the average discharge rate of the system. With 5°C of increase in the water temperature, the average discharge increased in 5%, but temperature variation had little influence in water distribution uniformity, because an increase of 5°C reduced only 1,2% in your value.

6.1 Introdução

Enquanto cerca de 45% da produção mundial de citros provém de pomares irrigados onde a produtividade é considerada alta (Zanini et al., 1998), no Brasil, apesar de ostentar o primeiro lugar na produção mundial com aproximadamente 22% do total, a maioria dos pomares não são irrigados e apresentam baixa produtividade média, com apenas duas caixas por planta (Amaro et al., 1997); tudo isso faz acreditar que a prática da irrigação em pomares de citros tende a aumentar.

Na maior parte do território brasileiro, o volume anual de chuvas é insuficiente para atender as necessidades das plantas cítricas. A distribuição irregular das chuvas propicia a ocorrência de longos períodos de déficit hídrico no solo e conseqüente estresse hídrico às plantas, gerando grandes quedas de produção. Neste contexto, a irrigação deve constituir-se em ferramenta indispensável para o incremento da produção (Coelho et al., 2000).

Muitos produtores utilizam a aspersão (convencional e autopropelido) para a irrigação dos pomares. Entretanto, devido ao elevado gasto com energia e consumo de água, nota-se que alguns produtores estão optando pela irrigação localizada, método que minimiza esses fatores quando bem projetado e manejado.

Apesar da irrigação localizada proporcionar um menor consumo de energia e água, este método requer um elevado investimento inicial. Para muitos produtores esse fator inviabiliza a implantação deste sistema.

Alguns produtores buscam soluções alternativas que possam de alguma forma diminuir os custos, tal como a utilização de tubos de polietileno perfurados, que apesar do baixo custo, não oferece um desempenho hidráulico confiável.

Embora exija um investimento maior do que tubos de polietileno perfurados, uma outra alternativa seria a utilização de microtubos. Entretanto, os microtubos apresentam, quando aplicam água sob regime laminar, os inconvenientes de alta sensibilidade a variações de temperatura e pressão, além de maiores riscos de entupimento, por esta razão necessitam de um criterioso projeto hidráulico (Soares, 1981).

Caso o sistema com microtubos seja selecionado para a irrigação do pomar, alguns aspectos devem ser levados em consideração: devido à necessidade de um criterioso levantamento de dados e um detalhado projeto hidráulico não se sabe o desempenho hidráulico de um sistema com microtubos em condições de campo; outro aspecto que também merece atenção, é a real influência da temperatura da água no desempenho do sistema com microtubos em condições de campo.

Dentro deste contexto, os objetivos deste trabalho foram:

- Verificar o desempenho hidráulico de um sistema de irrigação com microtubos em um pomar de citros;
- Realizar simulações hidráulicas para verificar a influência da temperatura da água no desempenho hidráulico do sistema;
- Apresentar o custo das linhas laterais com microtubos e comparar com o custo caso fossem utilizados tubos-gotejadores.

6.2 Material e métodos

Para verificação da viabilidade técnica da utilização de microtubos em um pomar de citros, foi instalado um sistema de irrigação com microtubos de tamanhos variados como emissores. O experimento foi realizado em área experimental (Figura 27) na Fazenda Raio de Sol, em Itirapina, SP. O trabalho foi dividido em quatro etapas: levantamento topográfico da área; dimensionamento hidráulico do sistema; montagem do sistema de irrigação e avaliação hidráulica.



Figura 27 - Visualização da área experimental

Para a verificação da viabilidade técnica do sistema foram obtidos os seguintes parâmetros: Uniformidade de Distribuição (UD) e Uniformidade Estatística (Uest). Em complemento a estes parâmetros também foi apresentado o custo de investimento em linhas laterais e microtubos. Este custo foi comparado com o custo do investimento em tubos-gotejadores, caso fosse optado por este tipo de emissor.

O presente trabalho foi conduzido em parceria com a Fazenda Raio de Sol, cujos proprietários forneceram a área e o equipamento necessário para montagem do sistema.

O trabalho foi conduzido em um pomar de citros com 5,23 ha, 3,3 m de espaçamento entre plantas e 6,75 m entre linhas de plantio. O esquema da área e o “layout” do sistema de irrigação podem ser observados na Figura 28.

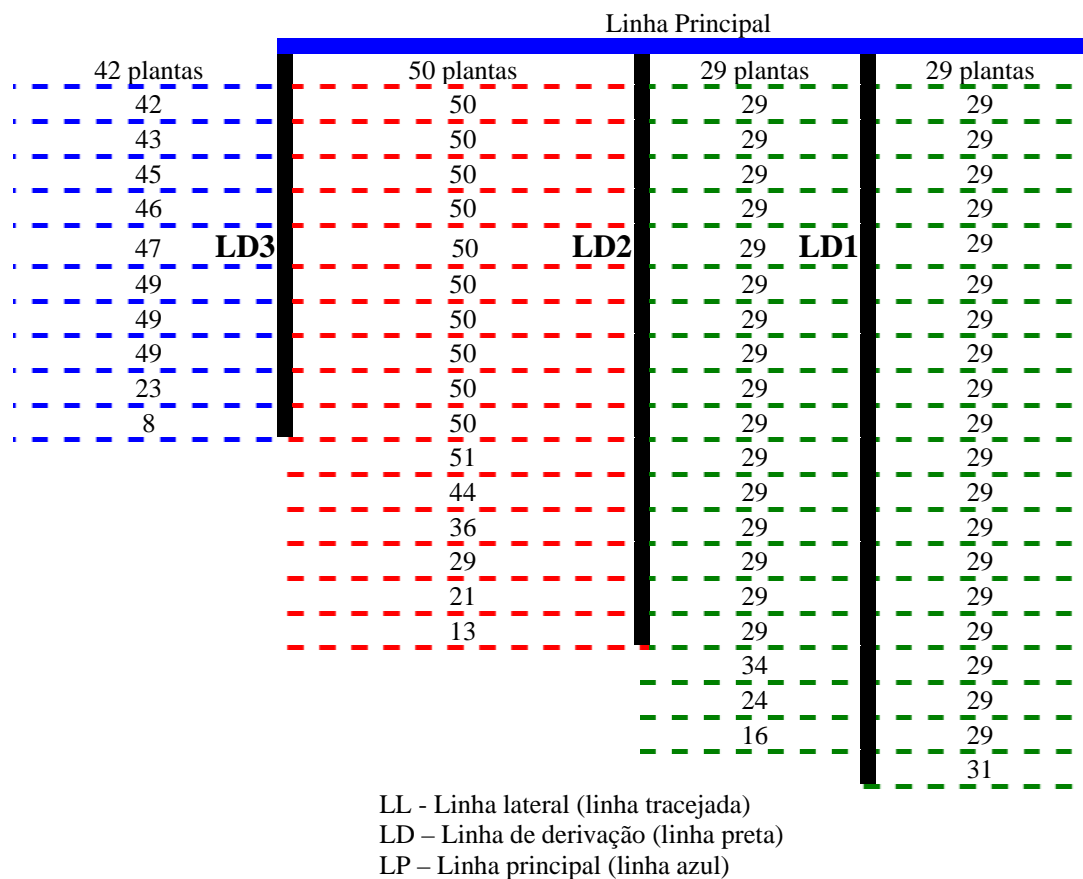


Figura 28 – Layout da área experimental

6.2.1 Levantamento topográfico

O levantamento foi realizado com teodolito e trena. Foram levantadas as cotas dos pontos na área que correspondem ao início e ao fim de cada linha lateral. Este procedimento foi adotado para que no dimensionamento hidráulico fosse considerado um relevo médio na linha.

6.2.2 Dimensionamento hidráulico do sistema

6.2.2.1 Linha de derivação

Para o dimensionamento das linhas de derivação foi utilizado o método trecho a trecho. Buscou-se o diâmetro cuja perda de carga estivesse o mais próximo possível da energia ganha com o desnível nesse trecho.

Conforme o diâmetro selecionado determinou-se a pressão no início de cada trecho. Esta pressão foi utilizada para o dimensionamento dos microtubos na linha lateral.

6.2.2.2 Linha lateral e microtubos

Foi selecionada uma linha lateral de 13,6 mm de diâmetro. O dimensionamento dos microtubos foi efetuado através do programa computacional elaborado em linguagem Delphi descrito no 4º capítulo.

Foi selecionado o microtubo de 1,0 mm de diâmetro, escolhido com o intuito de minimizar a ocorrência de entupimentos, visto que os outros diâmetros disponíveis eram menores. Para cada planta foram instalados dois microtubos (Figura 29).



Figura 29 - Dois microtubos para cada planta

6.2.3 Montagem do sistema

Foram utilizados vazadores de 2 mm para inserção do microtubos na linha lateral (Figura 30).



Figura 30 - Vazadores utilizados para instalação do microtubo

Primeiro os microtubos foram distribuídos na área conforme o dimensionamento hidráulico. Em seguida, foram realizados os furos na linha lateral e finalmente foram inseridos os microtubos (Figura 31).



Figura 31 - Inserção do microtubo na linha lateral

Cada linha de derivação possui um cavalete. Em cada cavalete foram instalados: registro, manômetro e filtro de discos (Figura 32).



Figura 32 - Cavalete no início da linha de derivação

6.2.4 Avaliação hidráulica

A avaliação hidráulica foi realizada três meses após a montagem do sistema. Foi adotado o critério de selecionar quatro linhas laterais em cada parcela e quatro emissores em cada linha lateral. Foram avaliados quatro emissores (igualmente espaçados) em cada linha selecionada, partindo-se do primeiro emissor da linha. Devido ao tamanho da área, na parcela abastecida pela linha de derivação 1 foram avaliadas oito linhas laterais. Foi coletada água durante 5 min em uma proveta graduada. A pressão nos cavaletes foi estabilizada em 100 kPa.

Para o cálculo da uniformidade foram considerados os coeficientes abaixo:

$$UD = 100 \cdot \frac{q_{\min}}{q_{\text{med}}} \quad (46)$$

$$U_{\text{est}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{q_{\text{med}}} \right) \quad (47)$$

6.2.5 Influência da temperatura da água

Para verificação da influência da temperatura da água no desempenho hidráulico do sistema com microtubos foram realizadas simulações hidráulicas, onde foi verificada a variação do desempenho do sistema em diferentes temperaturas. Para a simulação foi escolhida a parcela que foi alimentada pela linha de derivação 3. A área possui 443 plantas e 0,99 ha.

Primeiramente realizou-se o dimensionamento dos microtubos para a temperatura da água de 20°C, vazão dos emissores de 5 L h⁻¹ e pressão no início da linha de derivação 3 de 100 kPa. Nesta condição foi determinada a Uniformidade de distribuição (UD), o Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ), eq. (48), e a Vazão média.

$$CVQ = \frac{\sigma}{q_{med}} . 100 \quad (48)$$

Depois de estabelecida a condição de campo foram recalculadas as vazões para as temperaturas de 15, 25, 30 e 35°C, mantendo-se a pressão de 100 kPa no início da linha de derivação 3. Para cada temperatura foi determinada novamente a Uniformidade de distribuição (UD) o Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ) e a vazão média.

6.2.6 Custos

Como um dos objetivos deste trabalho foi o de fornecer uma alternativa para a redução dos custos da irrigação, foi apresentado o custo de investimento em linhas laterais com microtubos. Também foi realizada uma comparação entre o custo do sistema proposto e o custo do sistema caso fossem utilizados tubos-gotejadores. Para a realização desta comparação foi selecionado um tubo-gotejador não auto-compensante disponível no mercado.

6.3 Resultados e discussão

Com base nos critérios citados foram selecionados os diâmetros das linhas de derivação e da linha principal. Foi selecionado o diâmetro de 75 mm (PVC – linha de irrigação) para a linha principal e 38 mm (PE) para as linhas de derivação.

Optou-se por manter o mesmo diâmetro na linha de derivação para facilitar a montagem do sistema, visto que a utilização de linhas laterais com microtubos permite que exista uma determinada variação de vazão na linha de derivação, pois os microtubos serão dimensionados de acordo com a pressão no início da linha lateral.

Apenas nos dez primeiros trechos da linha de derivação 1 seria necessário a utilização de uma tubulação com diâmetro acima de 38 mm, para evitar uma variação excessiva de pressão. Neste caso optou-se por utilizar dois tubos em paralelo de 38 mm nestes trechos, o que equivale ao diâmetro desejado. A distribuição de pressão ao longo das linhas de derivação pode ser observada na figura a seguir.

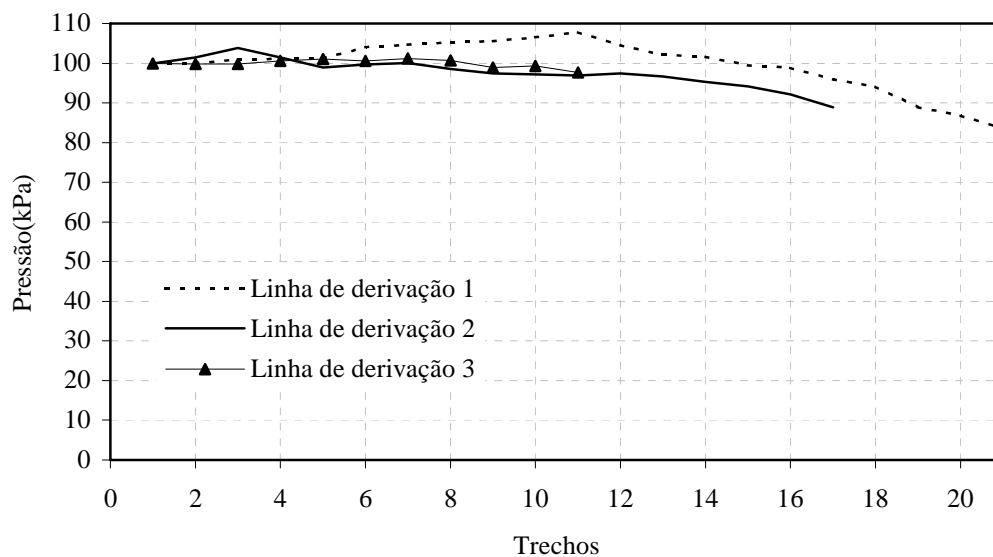


Figura 33 - Distribuição de pressão ao longo das linhas de derivação

Para o dimensionamento dos microtubos foi utilizado o software descrito no Capítulo 4, cuja tela de entrada de dados e resultados estão apresentados na Figura 34.

Dimensionamento
Autores: Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza
Tatiele Anieli Botrel

Entrada de dados

Vazão do emissor (L/h) = 5
 Comprimento do último microtubo (m) = 0,4
 Temperatura da água (°C) = 20
 Diâmetro do microtubo (mm) = 1,063
 Coefic. de perda de carga localizada (K) = 8,52
 Diâmetro da linha lateral (mm) = 13,6
 Comprimento da linha lateral (m) = 165
 Espaçamento entre plantas (m) = 3,3
 Variação no comprimento do microtubo (m) = 0,1
 Nº de emissores por planta = 2
 Regime: Laminar

Resultados

Emissor	Comp.(cm)	Vazão(L/h)	Pressão(mca)	Comp.LL(m)
Nº	---	---	8,36	0,00
1	160,00	4,88	8,08	3,30
2	150,00	4,97	7,81	6,60
3	140,00	5,07	7,54	9,90
4	140,00	4,92	7,28	13,20
5	130,00	5,04	7,04	16,50

Vazão máxima (L/h) = 5,26
 Vazão mínima (L/h) = 4,79
 Variação de vazão (%) = 7,60
 Característica topográfica
 Media (L/h) = 5,01
 CV (%) = 2,20
 UD (%) = 96,97
 Soma dos comp. dos microtubos(m) = 71,80

Dimensionar Linha Lateral

** H = Hf tubo + Energia de velocidade + Hf localizada
 ** Hf localizada = K · V² / 2g

Figura 34 – Tela do software utilizado para o dimensionamento das linhas laterais

O resultado deste dimensionamento pode ser visto no Anexo B.

Os valores de vazão obtidos nas avaliações podem ser observados na Tabela 21.

Tabela 21. Vazões medidas nos microtubos

Parcela	Linhas avaliadas	Comprimento da LL (m)	Vazões (L h ⁻¹)			
1	1	95,7	4,7	5,0	5,0	5,0
	2	95,7	5,2	5,3	5,3	5,3
	3	95,7	5,0	4,3	4,1	4,9
	4	102,3	4,6	4,7	4,9	4,9
	5	95,7	4,8	4,6	4,7	4,4
	6	95,7	5,2	4,8	5,5	4,2
	7	95,7	4,6	4,4	5,2	4,9
	8	52,8	4,3	5,2	5,3	4,4
2	1	165,0	5,0	5,3	5,3	4,9
	2	165,0	4,9	4,3	5,4	6,6
	3	168,3	3,6	4,8	5,5	5,2
	4	42,9	4,9	4,6	5,2	5,2
3	1	138,6	5,3	5,5	5,6	4,4
	2	148,5	5,2	5,3	5,3	6,2
	3	161,7	4,2	4,4	4,8	5,8
	4	24,6	5,2	5,4	5,3	5,3

As parcelas 1, 2 e 3 correspondem respectivamente às áreas abastecidas pelas linhas de derivação 1, 2 e 3.

Os coeficientes de uniformidade e a média das vazões obtidas para cada parcela podem ser observados na Tabela 22.

Tabela 22. Coeficientes de uniformidade e a média das vazões obtidas para cada parcela

Cavaletes	Média (L h ⁻¹)	Uest (%)	UD (%)
Parcela 1	4,83	92	90
Parcela 2	5,04	88	86
Parcela 3	5,15	89	85
Geral	4,97	90	87

Considerando o resultado geral, a uniformidade estatística foi de 90%, valor considerado excelente pela classificação de Brants & Kesner (1983). A uniformidade de distribuição obteve classificação boa, segundo Clemmens & Solomon (1997), já que a uniformidade foi de 87%. A média geral da vazão foi de 4,97 L h⁻¹, valor próximo da vazão de projeto que foi de 5,0 L h⁻¹.

6.3.1 Influência da temperatura da água

Para verificação da influência da temperatura da água no desempenho do sistema foram realizadas simulações hidráulicas, cujos resultados podem ser observados nas Figuras 35, 36 e 37.

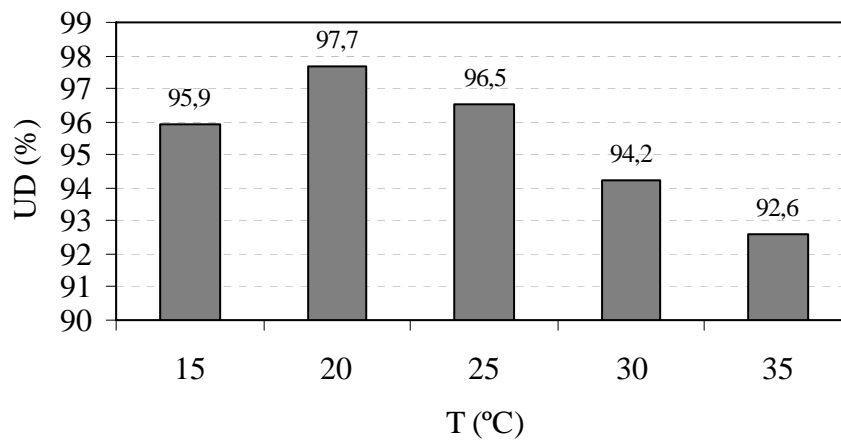


Figura 35 – Uniformidade de distribuição de água para diferentes temperaturas

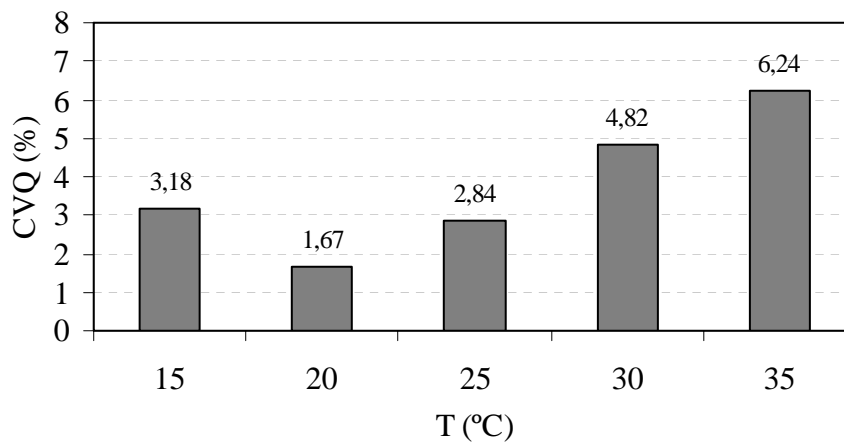


Figura 36 – Coeficiente de Variação de Vazão para diferentes temperaturas

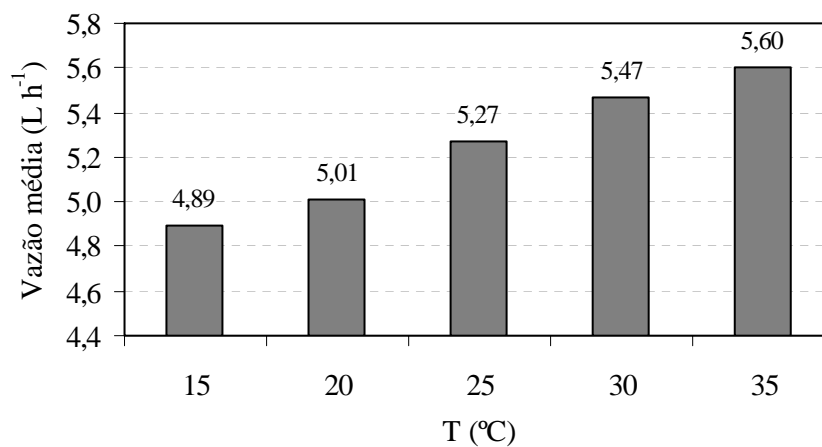


Figura 37 – Vazão média para diferentes temperaturas

Como pode ser observado nas Figuras 35, 36 e 37 o aumento ou a diminuição da temperatura da água altera o funcionamento do sistema. Na condição de projeto (20°C) o sistema obteve uma UD de 97,7%, um CVQ de 1,67% e uma vazão média de 5,01 L h⁻¹.

Um aumento de 5°C na temperatura de projeto reduz a UD para 96,5%, aumenta a CVQ para 2,84% e aumenta a vazão média para 5,27 L h⁻¹.

Nota-se que mesmo com uma variação na temperatura da água de 15°C a Uniformidade de Distribuição não ficou menor do que 90%, limite entre classificação “excelente” e “boa” segundo Clemmens & Solomon (1997). Acredita-se que dificilmente ocorrerão variações na temperatura da água desta magnitude.

Com relação ao Coeficiente de Variação de Vazão, o mesmo só ultrapassou 5% no caso extremo de 35°C na temperatura da água.

A vazão média foi o parâmetro que sofreu a maior influência com a variação de temperatura. A cada 5°C de aumento na temperatura da água, a vazão média aumentou em 5%. Esse efeito da variação da temperatura na quantidade de água aplicada pode ser contornado, com o ajuste do tempo de irrigação.

6.3.2 Custos

A seguir apresenta-se uma tabela com o custo do tubo que foi utilizado como linha lateral e o custo do microtubo.

Tabela 23. Custo do tubo utilizado como linha lateral e o custo do microtubo

Item	Quantidade (m)	Preço unitário (R\$/m)	Custo total (R\$)
Tubo PE 13,6 mm	7795	0,2531	1.973,00
Microtubos 1mm	5534	0,0910	504,00

O custo total do sistema considerando apenas linha lateral e microtubos foi de R\$ 2.477,00. Para aumentar o bulbo molhado é necessário um maior número de microtubos por planta. A seguir apresenta-se uma previsão de custo caso o número de emissores por

planta fosse quatro, cinco ou seis: quatro, R\$ 2.983,00; cinco, R\$ 3.236,00 e seis, R\$ 3.489,00.

Como a quantidade em metros de linha lateral é a mesma, um maior número de microtubos por planta não acarreta em um aumento excessivo do investimento em linhas laterais e emissores. Entretanto um número excessivo de microtubos por planta acarreta no aumento de linhas de derivação, pois as linhas laterais ficariam menores, o que pode acarretar em um aumento do custo do sistema.

A seguir apresenta-se uma tabela com a quantidade de tubos-gotejadores não auto-compensantes, com o custo correspondente, considerando uma linha de tubo-gotejador por linha de plantio.

Tabela 24. Quantidade e custo do tubo-gotejador

Item	Quantidade (m)	Preço unitário (R\$/m)	Custo total (R\$)
tubo-gotejador com emissor a cada 0,5 m	7795	0,978	7.623,51

A utilização de linhas laterais com seis microtubos por planta proporciona uma economia de 45,7% no gasto com emissores e linhas laterais, em relação a utilização de tubos-gotejadores. Entretanto deve-se levar em consideração o gasto com mão-de-obra para montagem do sistema com microtubos, que é uma atividade laboriosa principalmente em áreas extensas.

6.4 Conclusões

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foi realizado este trabalho, pode-se concluir que:

- A proposta de utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos demonstrou ser uma alternativa viável tecnicamente para pomares. Viável tecnicamente devido ao bom desempenho hidráulico do sistema (UD=87%).

- A utilização de linhas laterais com seis microtubos por planta proporciona uma economia de 45,7% no gasto com emissores e linhas laterais, em relação a utilização de tubos-gotejadores.
- A vazão média foi o parâmetro que sofreu a maior influência com a variação de temperatura. A cada 5°C de aumento na temperatura da água, a vazão média aumentou em 5%, já a Uniformidade de Distribuição de água sofreu um efeito reduzido, visto que um aumento de 5°C reduziu em apenas 1,2% o seu valor.

7 CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com os resultados obtidos e as condições presentes neste trabalho, pode-se concluir que:

- O modelo matemático proposto que considerou constante o coeficiente K da equação de perda carga localizada pode ser utilizado para representar o fenômeno de perda de energia no microtubo, representando melhor esse fenômeno do que o modelo que não considera essa perda, portanto a perda de carga localizada é um fator que deve ser considerado;
- O software para o dimensionamento de linhas laterais com microtubos proporcionou precisão e rapidez, o que agiliza a tomada de decisões. Devido a sua forma de concepção, o mesmo permite que o dimensionamento seja particularizado para cada condição em que se encontra a linha lateral. A abrangência do software permite que o projetista selecione a vazão dos emissores, o número de emissores por planta, o comprimento da linha lateral, a pressão no início da linha lateral e a variação de vazão na linha;
- A utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos por gravidade demonstrou ser uma alternativa viável tanto tecnicamente quanto economicamente para os pequenos produtores. Viável tecnicamente devido ao excelente desempenho hidráulico do sistema ($UD=97\%$) e viável economicamente devido ao baixo custo de investimento, mão-de-obra e operação do sistema. A utilização de linhas laterais com microtubos proporciona uma economia de 45,6% no gasto com emissores e linhas

laterais, em relação a utilização do tubo-gotejador que é utilizado como emissor no “kit” para irrigação localizada por gravidade. Foi notada também a facilidade de instalação e manutenção do sistema, o que se enquadra bem no perfil dos possíveis operadores em pequenas propriedades e comunidades carentes;

- A proposta de utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos demonstrou ser uma alternativa viável tecnicamente para pomares. Viável tecnicamente devido ao bom desempenho hidráulico do sistema ($UD=87\%$). A utilização de linhas laterais com seis microtubos por planta proporciona uma economia de 45,7% no gasto com emissores e linhas laterais, em relação a utilização de tubos-gotejadores. Dentro das condições estudadas, a vazão média foi o parâmetro que sofreu a maior influência com a variação de temperatura. A cada 5°C de aumento na temperatura da água, a vazão média aumentou em 5%, já a Uniformidade de Distribuição de água sofreu um efeito reduzido, visto que um aumento de 5°C reduziu em apenas 1,2% o seu valor.

ANEXOS

ANEXO A

Equação representativa do esvaziamento da caixa d'água em função do tempo:

- inicia-se pelas equações de vazão e volume:

$$Q = \frac{dVol}{dT} \Leftrightarrow dVol = Q.dT \quad (49)$$

$$dVol = A.dH \quad (50)$$

em que:

Q – vazão;

Vol – volume;

T – tempo;

A – área.

- substituindo 49 em 50:

$$Q.dT = -A.dH \quad (51)$$

- a equação vazão versus pressão do sistema de irrigação é a mesma do microtubo, multiplicada pelo número de microtubos:

$$Q = n.K.H^x \quad (52)$$

em que:

K – coeficiente específico de cada emissor;

n – número de microtubos aplicando água;

x – constante que caracteriza o regime de escoamento.

- substituindo 52 em 51:

$$n.KH^x.dT = -A.dH \Leftrightarrow \frac{n.K}{A}.dT = -\frac{1}{H^x}.dH \quad (53)$$

- como o regime de fluxo adotado é laminar, considera-se x=1:

$$\frac{n.K}{A}.dT = -\frac{1}{H}.dH \quad (54)$$

- integrando-se os membros:

$$\frac{n.K}{A}.T = -1.LN(H) + C \quad (55)$$

em que:

C – constante.

- novamente considerando $x=1$ devido ao regime laminar:

$$H = \frac{Q}{K} \quad (56)$$

- substituindo 56 em 55:

$$\frac{n.K}{A}.T = -1.LN\left(\frac{Q}{K}\right) + C \quad (57)$$

- logo:

$$T = C_1.LN(Q) + C_2 \quad (58)$$

em que:

C_1 e C_2 – constantes.

PARCELA 2

LD2

Tamanho dos microtubos (cm)																				Pi	
X	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	913	
X	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	924
X	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	940
X	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	947
X	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	931
X	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	953
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	916
X	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	950
X	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	916
X	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	921
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	929
X	X	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	953
X	X	X	X	X	X	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	953
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	940
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	926
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	873
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	837

Figura 39 - Linha de derivação 2 (pressão no início da linha lateral - Pi (m.c.a.) e comprimento dos microtubos em cm)

PARCELA 3

LD3

Tamanho dos microtubos (cm)																				Pi		
X	X	X	X	X	X	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	930	
X	X	X	X	X	X	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	943
X	X	X	X	X	X	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	933
X	X	X	X	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	942
X	X	X	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	916
X	X	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	938
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	950
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	950
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	948
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	948
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	955

Figura 40 - Linha de derivação 3 (pressão no início da linha lateral – Pi (m.c.a.) e comprimento dos microtubos em cm)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO, A.A.; MAIA, M.L.; GONZALES, M.A. Efeitos econômicos decorrentes da clorose variegada dos citros. In: DONADIO, L.C. (Ed.). **Clorose Variegada dos citros**. Bebedouro: Fundecitrus, 1997. p.123-135.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Requisitos mínimos para elaboração de projetos de sistema de irrigação localizada**; PNBR 12:02-08-022. São Paulo, 1986. 18p.

ASSY, T.M. **O emprego da fórmula universal de perda de carga e as limitações das fórmulas empíricas**. São Paulo: CETESB, 1977. 64p.

BALTRA, A.O.C. Utilização da informática na irrigação. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, n.28, p.13-15, 1987.

BRANTS, V.F.; KESNER, C.D. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transaction of the ASAE**, v.24, n.5, p.1369-1374, 1983.

CLEMMENS, A.J.; SOLOMON, K.H. Estimation of global irrigation distribution uniformity. **Journal of Irrigation and drainage engineering**, v.123, n.6, p.454-461, 1997.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, A.S.; MAGALHÃES, A.F.J. **Irrigação e fertirrigação em citros**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2000. 23p. (Circular Técnica, 38).

- DETOMINI, E.R. Modelagem da produtividade potencial de *Brachiara brizantha* (variedades cultivadas Marandu e Xaraês). Piracicaba, 2004. 112p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- DOURADO NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: uses of mathematical models in agriculture science. **Scientia Agrícola**, v.55, p.46-50, 1998. Número especial.
- ELIAS, E.A. Modelagem analítica do perfil de temperatura no solo. Piracicaba, 2004. 67p. Teses (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FRAUSTO, K. **Developing irrigation options for small farmers**. Institute Development Enterprises, 2000. 42p. <http://www.dams.org.br/docs/kbase/contrib/opt153.pdf> (10 Set. 2003).
- GIULIANI, P. Aplicativo computacional para simulação da distribuição de água pelo aspersor PLONA-RL300 em sistemas autopropelidos de irrigação. Lavras, 2004. 86p. Dissertação (M.S.) – Universidade Federal de Lavras.
- GOMES, T.M. Efeito do CO₂ na água de irrigação e no ambiente sobre a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). Piracicaba, 2001. 83p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GUIMARÃES, J.C. Modelo matemático para dimensionamento e análise de redes hidráulicas em irrigação por aspersão convencional. Lavras, 1995. 102p. Dissertação (M.S.) – Universidade Federal de Lavras.

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

KELLER, J.; ADHIKARI, D.L., PETERSEN, M.R.; SURYAWANSHI, S. **Engineering low-cost micro-irrigation for small plots**. International Development Enterprises, 2001. 25p. <http://www.ideorg.org/html/library/library.jsp> (11 Set. 2003).

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. California: Rain Bird Sprinkler, 1975. 133p.

KHATRI, K.C.; WU, I.; GILTLIN, H.M.; PHILLIPS, A. Hydraulics of microtube emitters. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.105, n.2, p.167-173, 1979.

KRUSE, E.G. Describing irrigation efficiency and uniformity. **Journal Irrigation Drainage Division**, v.104, n.1, p.35-41, 1978.

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

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

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, 17p. http://inweb18.worldbank.org/essd/irrigation_show_irrigation_technology.doc (10 Set 2003).

MARQUES, P.A.A. Desenvolvimento de um software para dimensionamento de irrigação por sulcos. Piracicaba, 2000. 84p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MIRANDA, J.H. Modelo para simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não-saturado. Piracicaba, 2001. 79p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

NGIGI, S.N; WAWERU, J.N.; BLANK, H.G. **Low-cost irrigation for poverty reduction.** International Water Management Institute, 2001. 4p. <http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/Areps/2001/theme%202.pdf> (11 Set 2003).

OLIVEIRA, C.A.S. Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais para irrigação por gotejamento. Viçosa, 1978. 72p. Dissertação (M.S.) – Universidade Federal de Viçosa.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia.** Madrid: Mundi-Prensa, 1987. 461p.

PORTO, R.M. **Hidráulica básica.** 2. ed. São Carlos: EESC, 1999. 519p.

RODRIGUES, L.N. Modelo para dimensionamento e para simulação do desempenho de pivô central. Viçosa, 1999. 145p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

- ROJAS, R.N.Z. Modelagem, otimização, construção e avaliação de um protótipo de carneiro hidráulico. Piracicaba, 2002. 70p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, W.L. Software para seleção e dimensionamento hidráulico de bombas centrífugas. Viçosa, 1995. 79p. Dissertação (M.S.) – Universidade Federal de Viçosa.
- SCHIOZER, D. **Mecânica dos fluidos**. São Paulo: Araguaia, 1990. 610p.
- SILVA, P.J.C.; BRITO, R.A.L.; AZEVEDO, H.M. Caracterização hidráulica de linhas laterais em sistemas localizados utilizando microtubos de tamanhos variados como emissores. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO DE DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. **Anais**. Florianópolis: ABID, v.1, 1988. p.473-506.
- SOARES, A.A. Características hidráulicas de microtubos Cipla e linhas laterais para irrigação por gotejamento. Viçosa, 1981. 68p. Dissertação (M.S.) – Universidade Federal de Viçosa.
- SOLOMON, K.H. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transaction of the ASAE**, v.22, n.5, p.1034-1038, 1979.
- SOUZA, E.F. Modelo computacional aplicado ao manejo e planejamento da irrigação. Viçosa, 1993. 65p. Dissertação (M.S.) – Universidade Federal de Viçosa.
- SOUZA, J.L.M. Modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para a cultura do cafeeiro. Piracicaba, 2001. 253p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- SOUZA, R.O.R.M. Desenvolvimento e avaliação de um sistema de irrigação automatizado para áreas experimentais. Piracicaba, 2001. 70p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- TURCO, J.E.P.; FERNANDES, E.J. Construção e avaliação de um psicrômetro de termopares. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.468-476, 2003.
- VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. Localized irrigation. Design, installation, operation, evaluation. **Irrigation and Drainage**, n. 36. Roma: FAO, 1980. 203 p.
- VICCINO, J.R. Programa de computador para auxiliar no projeto e manejo de sistemas de irrigação por aspersão convencional. Piracicaba, 1996. 64p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- VILELA, L.A.A. Metodologia para dimensionamento de um sistema de pulverização acoplável a pivô central. Piracicaba, 2002. 127p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ZANINI, J.R.; PAVANI, SILVA, J.A.A. **Irrigação em citros**. Jaboticabal: Funep, 1998. 35p.
- ZIEMER, A.H. Aplicativo computacional para o dimensionamento de canais e estruturas hidráulicas. Lavras, 2003. 94p. Dissertação (M.S.) – Universidade Federal de Lavras.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)