

ESTUDO HIDRÁULICO DE LINHAS LATERAIS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

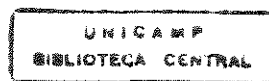
JOSÉ ASSIS GALZERANO FRANCESCATO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Civil - Área de Concentração : Recursos
Hídricos e Saneamento.

CAMPINAS

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro - 1993



Prof. Dr. _____
Matrícula: _____

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UN, CAMP
	F 844e
V.	Ex.
IMPRESSÃO	41094
	278100
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	15-06-00
N.º CPD	

CM-00142787-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F844e Francescato, José Assis Galzerano
 Estudo hidráulico de linhas laterais de irrigação
 localizada. / José Assis Galzerano Francescato.--
 Campinas, SP: [s.n.], 1993.

 Orientador: Dirceu Brasil Vieira
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

 1. Irrigação agrícola. 2. Engenharia de irrigação. I.
 Vieira, Dirceu Brasil. II. Universidade Estadual de
 Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

Aos meus pais,
aos meus irmãos,
ao meu sobrinho Miguel,
a minha esposa Márcia,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, por intermédio do Departamento de Hidráulica e Saneamento, pela oportunidade oferecida.

Ao Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira, pela orientação, apoio e principalmente amizade demonstrada no decorrer do curso.

À memória do Prof. Dr. Morency Arouca, pela sua luta na implantação deste curso na Faculdade.

Aos demais professores, colegas de curso e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de estudos concedida e custeio de materiais.

Às empresas Dantas Irrigação Ltda e Asbrasil Aspersão no Brasil S/A pela doação de parte dos materiais utilizados no experimento.

Enfim, a todos que direto ou indiretamente contribuíram com o presente trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS	viii
RESUMO	ix
SUMMARY	xi
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 - Métodos de Irrigação Localizada	3
2.2 - Emissores	5
2.3 - Dimensionamento Hidráulico	8
2.4 - Características Hidráulicas dos Micro-aspersores	11
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1 - Introdução	13
3.2 - Bancada de Teste	13
3.3 - Determinação do Diâmetro da Tubulação	18
3.4 - Teste das Linhas Laterais	20
3.5 - Avaliação dos Micro-aspersores	34
3.6 - Análise Hidráulica do Sistema	34
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 - Avaliação da Aplicação das Fórmulas Associadas aos Coeficientes de Correção	38
4.2 - Avaliação do Desempenho dos Micro-aspersores	88
5 - CONCLUSÕES	96
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	98

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
01 Gotejadores de longo percurso tipo labirinto	7
02 Croqui da bancada de testes	14
03 Vista geral da bancada de testes	15
04 Detalhe da bancada de testes	16
05 Manômetro tipo "U"	19
06 Recipiente graduado	21
07 Micro-aspersor Dantas MA-70	22
08 Detalhe do micro-aspersor inserido na linha	23
09 Vista geral da linha de micro-aspersão	24
10 Coleta de água do micro-aspersor	26
11 Gotejador "on-line" da Asbrasil	27
12 Detalhe do gotejador "on-line" inserido na linha	28
13 Detalhe da calha de lona plástica	30
14 Coleta de água dos gotejadores	31
15 Gotejador "in-line" da Dantas	32
16 Emissor "xique-xique"	33
17 e 18 Curva de perda de carga unitária x vazão para a tubulação	42 e 43
19 a 21 Curva de perda de carga unitária x vazão, para linha com micro- aspersores MA-70	49 a 51
22 a 24 Curva de perda de carga unitária x vazão, para linha com micro- aspersores MA-120	56 a 58
25 a 27 Curva de perda de carga unitária x vazão, para linha com goteja- dores "on-line"	63 a 65
28 a 30 Curva de perda de carga unitária x vazão, para linha com goteja- dores "in-line"	70 a 72

Figura		Página
31 a 33	Curva de perda de carga unitária x vazão, para linha com gotejadores "in-line" com $l_e = 1,01$ m	78 a 80
34 a 36	Curva perda de carga unitária x vazão, para linha com gotejadores "xique-xique"	85 a 87
37	Variação da vazão ao longo da linha com micro-aspersores MA-70, para $P_i = 15,5$ m.c.a.	89
38	Variação da vazão ao longo da linha com micro-aspersores MA-120, para $P_i = 19$ m.c.a.	90
39	Vazão nos micro-aspersores MA-70 para pressão de serviço de 15 m.c.a.	91
40	Vazão nos micro-aspersores MA-120 para pressão de serviço de 15 m.c.a.	92
41	Curva vazão x pressão para micro-aspersores MA-70	94
42	Curva vazão x pressão para micro-aspersores MA-120	95

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
01 a 06 Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para tubulação	39 a 41
07 a 14 Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha com micro-aspersores MA-70	45 a 48
15 a 22 Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha com micro-aspersores MA-120	52 a 55
23 a 30 Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha com gotejadores "on-line"	59 a 62
31 a 38 Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha com gotejadores "in-line"	66 a 69
39 a 46 Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha com gotejadores "in-line" com $l_e = 1,01$ m	74 a 77
47 a 54 Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha com emissores "xique-xique"	81 a 84

LISTA DE SÍMBOLOS

- a : Fator de perda de carga para gotejadores "in-line",
- b : Coeficiente que depende da natureza e do estado das paredes da tubulação para a fórmula de Flamant,
- C : Coeficiente que depende da natureza e do estado das paredes da tubulação para a fórmula de Hazen-Williams,
- CV : Coeficiente de variação de vazão,
- D : Diâmetro interno da tubulação,
- f : Coeficiente de atrito para a fórmula Universal,
- F : Coeficiente de Christiansen,
- g : Aceleração da gravidade,
- hf : Perda de carga,
- j : Perda de carga unitária,
- L : Comprimento da tubulação,
- le : Comprimento equivalente para gotejador,
- g : Distância entre gotejadores,
- m : Expoente da vazão da fórmula utilizada,
- m1 : Coeficiente de correção para distribuição em marcha 1(1/m+1),
- m2 : Coeficiente de correção para distribuição em marcha 1(1/3),
- N : Numero de saídas laterais,
- Pi : Pressão no início da linha,
- Q : Vazão,
- qm : Vazão média dos emissores,
- Re : Número de Reynolds,
- V : Velocidade da água,
- σ : Desvio padrão.

ESTUDO HIDRÁULICO DE LINHAS LATERAIS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Autor : JOSÉ ASSIS GALZERANO FRANCESCATO

Orientador : PROF. DR. DIRCEU BRASIL VIEIRA

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o desempenho das fórmulas de Hazen-Williams, Flamant e Universal, associadas aos coeficientes de correção de Christiansen e da distribuição em marcha ($1/3$ e $1/m+1$), no cálculo da perda de carga em linhas laterais de irrigação localizada, conduziu-se este trabalho no campus de Limeira da UNICAMP.

Utilizou-se de linhas laterais de irrigação localizada por micro-aspersão com micro-aspersores MA-70 e MA-120 da marca Dantas Irrigação Ltda, gotejamento "on-line" da marca Asbrasil Aspersão do Brasil S. A., gotejamento "in-

line" da marca Dantas Irrigação Ltda, e pelo sistema "xique-xique". Cada linha com cerca de cem metros de comprimento.

As linhas foram instaladas em uma bancada de testes composta de uma bomba centrífuga, um registro de gaveta, uma válvula reguladora de pressão e uma câmara estabilizadora de fluxo.

Determinou-se experimentalmente, a perda de carga ao longo da linha para a tubulação sem emissores inseridos e para a tubulação com emissores inseridos. Tais determinações foram feitas para cinco pressões no início da linha, sendo que para cada pressão mediu-se a vazão.

Com base nos dados obtidos, determinou-se qual a fórmula associada aos coeficientes de correção, que melhor descrevesse o comportamento hidráulico do sistema.

Através da avaliação dos resultados, verificou-se, que para o cálculo da perda de carga em tubulações sem emissores inseridos, a fórmula Universal apresentou melhores resultados, com desvio médio na ordem de 10 % .

Para a linha com emissores inseridos, micro-aspersão e gotejamento "on-line", a fórmula Universal associada aos coeficientes de distribuição em marcha apresentou os melhores resultados, com desvio máximo da ordem de 3 % . A linha pelo sistema "xique-xique" apresentou desvios superiores, devido a variação da vazão nos emissores.

A linha por gotejamento "in-line" apresentou desvios máximos de 1 %, com a utilização da fórmula Universal associada aos coeficientes de distribuição em marcha e do comprimento equivalente ($l_e=1,01m$), determinado para o gotejador.

Verificou-se que os coeficiente C de Hazen-Williams e b de Flamant, variaram com o numero de Reynolds.

Os micro-aspersores embora classificados como bons conforme a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, apresentaram variação de vazão superior a 10 %, para dois micro-aspersores funcionando simultaneamente.

HIDRAULIC STUDY OF LATERAL LINES OF LOCALIZED IRRIGATION

Author : **JOSÉ ASSIS GALZERANO FRANCESCATO**

Adviser : **PROF. DR. DIRCEU BRASIL VIEIRA**

SUMMARY

In order to evaluate the performance of Hazen-Williams, Flamant and Universal's equations, associated to Christiansen and distribution on the march's ($1/m+1$ and $1/3$) coefficients in the head loss calculate in lateral lines of localized irrigation, this study was made in the Limeira campus of UNICAMP.

Lateral lines of localized irrigation was utilized for minisprinkling with minisprinklers MA-70 and MA-120 of Dantas Irrigação Ltda mark, drip irrigation "on-line" of Asbrasil Aspersão do Brasil S/A mark, Drip Irrigation of

Dantas Irrigação Ltda mark, and with the, "xique-xique" sistem. Each line with around 100 m of lenght.

The lines were installed in a test unit fit out with : a centrifugal pump, a drawer valve, a regulate valve of pressure and flow stabilizer chamber.

Experimentaly was determinated of head loss trough the line for the pipe without insert emittings and for the pipe with insert emittings. These determinations was made for five pressures in the line beginning, and for each pressure was measured the flow rate.

Embased on the data obtained, was determinated the right equation associated to correction coefficient that discribe the hidraulic behave of sistem in a better way.

Trough the avaliation of results, was notired that for the head loss calculation in pipe without inset emittings, the Universal's equation shoued better results with medial deviation around 10 %.

For the line with insert emittings, minisprinkling and drip irrigation "on-line" the Universal's equation associated to distribution on the march coefficient showed better results, with maximum deviation around 3 %. The line for the "xique-xique" sistem showed superiors deviation because the variation in the emittings.

The drip irrigation line "in-line" showed maximum deviations of 1% with the utilization of the Universal's equation associated to distribution on the march's coefficient and with the equivalent length (1,01m), determined to the emitter.

Was notied that the C of the Hazen-Williams and b of the Flamant varied with the Reynolds's number.

The minisprinklers, although classificated good according as the ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, the flow rate variation between two minisprinklers working simultaneously was superior to 10%.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de irrigação localizada caracteriza-se pela aplicação de água ao longo da cultura e sob a copa das plantas, de sorte a molhar apenas uma parcela da superfície do terreno, proporcionando menores perdas de água, em consequência maior eficiência de irrigação, propiciando assim uso mais racional da água.

Os principais tipos de irrigação localizada disponíveis no mercado brasileiro são, o Gotejamento e a Micro-aspersão, e ainda a irrigação localizada pelo sistema "xique-xique".

Os sistemas de irrigação localizada tem como principais características, sua alta eficiência e grande economia de água, operando a baixas pressões permite ainda grande economia de energia.

Como o sistema utiliza tubulação de pequeno diâmetro, exigindo ainda equilíbrio de pressão ao longo da linha, seu dimensionamento hidráulico deve ser feito com critério e cuidado.

Portanto, procurou-se estudar o comportamento hidráulico de linhas laterais de irrigação localizada, afim de permitir aos técnicos projetistas, melhores condições para elaboração de projetos de irrigação.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivos :

- a) Avaliar o desempenho das fórmulas de : Hazen-Williams, Flamant e Universal, associadas aos coeficientes de Christiansen e de distribuição em marcha ($1/3$ e $1/m+1$), no dimensionamento do sistema.
- b) Estudar as características hidráulicas dos micro-aspersores.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Métodos de Irrigação Localizada

Segundo VIEIRA (1989) a irrigação localizada engloba os métodos que aplicam água em pontos localizados na superfície do terreno. Os principais sistemas de irrigação localizados são : gotejamento, micro-aspersão e "xique-xique".

2.1.1 - Irrigação por Gotejamento

A irrigação por gotejamento, segundo esse mesmo autor foi introduzida no Brasil em 1975. Trata-se de um sistema de aplicação de água a baixa pressão e em pequenas quantidades, tão freqüentes quanto possível, de tal forma a manter a umidade do solo próxima a Capacidade de Campo. Formando assim bulbos molhados no interior do solo, onde o sistema radicular das plantas abastece-se de água e de nutrientes necessários ao seu metabolismo. Segundo DUNN (1970) o gotejamento era usado há muitos anos na irrigação de cultivos em estufa de vidro.

Exemplo disso é o trabalho de FORBES (1960), que pesquisou o desenvolvimento da cultura de tomateiros em estufa de vidro, irrigados pelo sistema de gotejamento.

A partir de 1959 Israel investiu muito no desenvolvimento da irrigação por gotejamento, com o objetivo de economizar água, DESHMUKH (1974). Em razão desse sucesso do sistema em Israel, técnicos americanos o introduziram nos E.U.A., onde foi muito bem aceito pelos agricultores. No Brasil, segundo relato de VIEIRA, (1973) havia cerca de 400 ha de cultura sob gotejamento, notadamente no estado de São Paulo. Já OLITTA (1976) afirma que a área irrigada por gotejamento era de 800 ha. Em 1979, TELLES (1982) cita como sendo de 1500 ha a área irrigada por gotejamento em todo o Brasil. A partir dessa época o sistema de irrigação por gotejamento vem se desenvolvendo muito em todo país.

2.1.2 - Irrigação por Micro-aspersão

A Micro-aspersão, segundo VIEIRA (1989) é uma variação do gotejamento, indicada sobretudo para solos arenosos, onde há maior facilidade para o fluxo vertical da água aplicada. Nesse caso a utilização do gotejamento resulta em um bulbo molhado com formato afunilado, que dificulta a absorção radicular da água. Tal problema era contornado colocando-se vários gotejadores ao redor e sob a copa da planta; tal situação, embora eficaz, tornava-se onerosa, chegando a inviabilizar o uso do gotejamento.

Pesquisadores israelenses desenvolveram micro-aspersores, os quais substituíram os gotejadores, sendo inseridos nas linhas laterais, locados na parte mediana entre plantas. Tais dispositivos operando com pressões baixas, pulverizam água sobre uma área maior do terreno, com cerca de dois a três metros de diâmetro, solucionando assim o problema da absorção radicular de água. A micro-aspersão foi introduzida no Brasil há cerca de dez anos, sendo muito utilizada em fruticultura e principalmente em terrenos arenosos.

PUEYA & FORCADA (1980) citados por NOGUEIRA (1989), observaram que entre os sistemas de irrigação localizada, diferenciam-se o gotejamento e a micro-aspersão principalmente por:

- O gotejamento aplica água em pontos localizados, enquanto a micro-aspersão em regiões circulares.
- O gotejamento utiliza vazões mais baixas que a micro-aspersão, portanto necessita de tubulações com diâmetros menores.

2.1.3 - Irrigação pelo Sistema "Xique-xique"

O sistema "xique-xique" foi desenvolvido tentando-se a minimização de custos. Sua concepção é simples, basicamente trabalha de forma idêntica ao gotejamento, porém, não utiliza emissores, cujas funções são desempenhadas por pequenos orifícios feitos na tubulação e envolvidos com segmentos da própria tubulação. A perfuração da tubulação deve ser feita cuidadosamente com agulha quente, mesmo nestas condições a variação da vazão ao longo da linha é relativamente grande. Trata-se, portanto, de um sistema caseiro, indicado para pequenas propriedades. GONÇALVES *et al.* (1986) estudando a perda de carga em tubos perfurados, observaram grande variação na vazão ao longo da linha.

2.2 - Emissores

2.2.1 - Gotejador

O gotejador é considerado como a alma do sistema. É uma estrutura idealizada para dissipar a pressão da água nas tubulações, de maneira a permitir pequenas vazões, TELLES (1982).

Segundo KARMELI E KELLER (1975), um gotejador deve atender os seguintes requisitos :

- Fornecer uma vazão relativamente baixa, constante e uniforme;
- Apresentar um orifício de saída do fluxo relativamente grande;
- Ser barato, resistente e compacto;

Os gotejadores podem ser do tipo "in-line", isto é, incorporados na linha de irrigação, ou "on-line", inseridos sobre a linha.

Dentre os diversos tipos de gotejadores com relação ao seu princípio de funcionamento, enfocamos apenas o gotejador em estudo, ou seja, gotejador com longo percurso de saída tipo labirinto, vide figura 1.

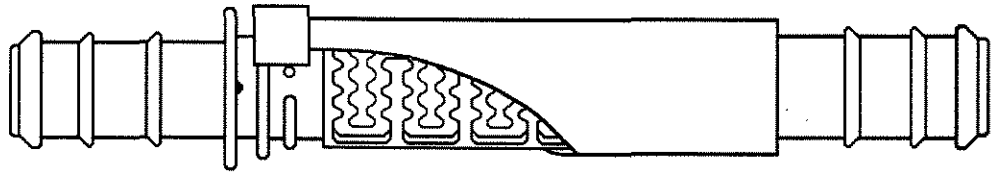
O princípio de funcionamento desses gotejadores é provocar a perda de carga necessária através de um estreito e longo percurso da água em seu interior, que é conseguida pelo atrito durante este percurso, e assim, aberturas maiores que 1 mm podem produzir as pequenas vazões desejadas, trabalhando com pressões em torno de 10 m.c.a. .

2.2.2 - Micro-aspersor

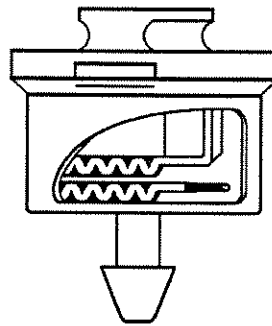
O micro-aspersor basicamente tem as mesmas funções do gotejador, ou seja, dissipar a pressão da água e propiciar pequenas vazões, mas difere no sistema de aplicação de água.

Conectados na tubulação, os micro-aspersores dissipam a energia da água, aspergindo-a em forma de pequenas gotas, NOGUEIRA (1989), formando assim uma área molhada circular.

Segundo GILAAD *et al.* (1974), as características hidráulicas dos micro-aspersores, tais como, relação entre vazão e pressão, perda de carga localizada devido a sua inserção na tubulação e o alcance e intensidade de precipitação, são influenciadas pelo processo de fabricação, pelo material empregado e pelo sistema de instalação do micro-aspersor na tubulação.



A - Gotejador "in-line".



B - Gotejador "on-line".

Figura 01 - Gotejadores tipo labirinto.

2.2.3 - Emissor "Xique-xique"

A irrigação localizada pelo sistema "xique-xique" é uma solução caseira, não tem portanto emissores industrializados, no lugar destes é feito um orifício. A água ao passar pelo o orifício tem sua energia de pressão transformada em energia cinética, portanto adquire grande velocidade, o que não é desejável, a colocação de uma capa sobre o orifício minimiza o problema. Tal capa pode ser um segmento da própria tubulação, com cerca de cinco centímetros, cortada ao longo de seu comprimento, que é aberta e instalada sobre a tubulação, cobrindo o orifício, VIEIRA (1989).

A vazão é determinada pelo diâmetro, forma do orifício e pressão de serviço. O diâmetro do orifício é em geral de 0,50 a 1 mm, que para uma pressão de serviço de 10 m.c.a., corresponde a uma vazão de 6 a 12 litros por hora.

2.3 - Dimensionamento Hidráulico

No dimensionamento de sistemas de irrigação localizada, é de fundamental importância a determinação das perdas de carga que ocorrem nas linhas laterais. As perdas de carga são, geralmente, determinadas pelas fórmulas de Hazen-Williams e Universal, Existe também a fórmula de Flamant, que foi desenvolvida especificamente para tubulações de pequeno diâmetro, conforme afirma AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1973).

A equação de Hazen-Williams é utilizada com maior segurança para números de Reynolds altos, acima de 4000, isto é, na transição entre os regimes turbulento hidraulicamente liso e hidraulicamente rugoso e na turbulência completa. Alguns autores estendem a sua aplicação as linhas laterais, a partir de números de Reynolds igual a 2.000. Tal consideração pode ser feita sem acarretar erro considerável, pois o trecho da linha lateral em que ocorre regime instável, com Reynolds entre 2.000 e 4.000, é relativamente pequeno, sendo indicada para diâmetros

superiores a 50 mm, OLIVEIRA (1978). Diferentes valores do coeficiente de rugosidade C são apresentados, dependendo do tipo de material e do estado das paredes da tubulação. Os compêndios da hidráulica em geral, dão o valor de 140 para C , para tubulação de plástico.

A equação Universal pode ser utilizada tanto no regime laminar como no regime turbulento. O fator de atrito f dessa equação, quando o regime de fluxo é laminar, pode ser obtido por $f = 64/Re$; e quando o regime é turbulento, os valores de f podem ser obtidos usando-se a fórmula de Blasius, onde $f = 0,316Re^{-0,25}$, BOTREL (1984).

A fórmula de Flamant tem sido mais comumente adotada para os encanamentos de pequeno diâmetro, sendo muito empregada em instalações prediais, o coeficiente b varia com o tipo de material e o estado das paredes da tubulação, sendo para polietileno empregado 0,000135, MACINTYRE (1980).

URBINA (1976) & PARAQUEIMA (1977) citados por BOTREL (1984), estudando linhas laterais para irrigação por gotejamento, chegaram a conclusão de que a equação de Hazen-Williams não é apropriada para esses cálculos, pois o coeficiente C , empregado como constante para o material utilizado, varia com a vazão.

Estudando comparativamente a fórmula Universal e as fórmulas empíricas, ASSI (1977) concluiu que a fórmula de Hazen-Williams apresenta-se correta apenas para números de Reynolds 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 varia em função do número de Reynolds.

OLIVEIRA (1978), trabalhando com linhas de irrigação localizada por gotejamento, observou que o coeficiente C de Hazen-Williams varia conforme a vazão e o diâmetro da tubulação, encontrando-se um C médio da ordem de 144.

Estudando linhas de irrigação localizada por micro-aspersão, BOTREL (1984) concluiu que o coeficiente C de Hazen-Williams variou com o número de Reynolds através das seguintes fórmulas : $C = 79,08 Re^{0,0599}$ e

$C = 77,81 Re^{0,656}$, para linhas com 15,94 e 20,70 mm de diâmetro respectivamente. Já para coeficiente f da fórmula Universal obteve a seguinte fórmula : $f = 0,332 Re^{-0,254}$.

As fórmulas citadas anteriormente permitem a determinação da perda de carga em tubulações com regime uniforme de escoamento, isto é, a vazão permanece constante em toda tubulação. Mas em linhas laterais de irrigação localizada este fato não acontece, devido a inserção de emissores, provocando, assim, um decréscimo da vazão ao longo de seu comprimento e, conseqüentemente, uma diminuição da perda de carga.

Ocorre, portanto, uma distribuição em marcha, o que exigiria um dimensionamento da linha lateral de irrigação trecho por trecho.

Este procedimento contudo, é muito trabalhoso; determina-se assim, a perda de carga pelas fórmulas citadas, não considerando a distribuição em marcha, corrigindo-se o resultado obtido por um coeficiente. Essa correção é normalmente feita em projetos de irrigação, multiplicando-se o resultado obtido pelo coeficiente F , denominado coeficiente de Christiansen, OLITTA (1978).

Já FERNÁNDEZ (1993), indica o coeficiente $1/(m+1)$ para o dimensionamento de linhas laterais de irrigação localizada.

Outra maneira muito empregada, para correção da perda de carga, no dimensionamento de redes de distribuição de água em cidades, é o conceito de vazão fictícia, segundo o qual vazão fictícia é aquela, que produz perda de carga continua em uma tubulação supondo-se sem saídas laterais, igual a perda de carga em uma tubulação na situação real, isto é, com saídas laterais, conforme NEVES (1968). Ainda no dimensionamento de redes de distribuição, outro critério adotado é que, se uma tubulação distribuir toda sua vazão ao longo de seu comprimento, a perda de carga será a terça parte da perda de carga que se teria, caso na tubulação não houvesse distribuição em marcha, AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1973).

Trabalhando com linhas de irrigação localizada por gotejamento, VIEIRA e TRINDADE (1986) verificaram que a fórmula que melhor se adaptou aos dados obtidos no campo, foi a de Hazen-Williams associada ao coeficiente F de Christiansen.

GONÇALVES *et al.* (1986), trabalhando com linhas laterais utilizando tubos perfurados, verificaram que a fórmula de Hazen-Williams mostrou-se inadequada para o dimensionamento de tubulações com diâmetros de 12,97 mm (3/8"), 16,30 mm (1/2") e 20,63 mm (3/4"), obtendo melhores resultados a aplicação da fórmula de Flamant associada aos coeficientes F , $1/3$ e $1/(m+1)$, dependendo do diâmetro da tubulação, e ainda, a fórmula Universal associada ao coeficiente F , apresentou resultados aceitáveis para tubulações com diâmetros nominais de 3/8" e 1/2".

Segundo FERNÁNDEZ (1993), para linhas de gotejamento utilizando gotejadores "in-line", deve-se considerar no seu dimensionamento, a perda de carga localizada que ocorre no gotejador. Tal consideração pode ser feita, multiplicando-se a perda de carga, calculada conforme descrito anteriormente, pelo fator "a" que é dado por :

$$a = \frac{lg + le}{lg} \quad (1)$$

onde :

lg : distância entre gotejadores (m),

le : comprimento equivalente do gotejador (m),

para gotejador "in-line"- $le = 0,2m$.

2.4 - Características Hidráulicas dos Micro-aspersores

Em todo sistema de irrigação é desejável que a água seja distribuída uniformemente as plantas. Por outro lado, para que isso seja possível, geralmente há aumento de custo na implantação do sistema.

KARMELI & KELLER (1974) afirmam que a uniformidade de aplicação de água em irrigação localizada é afetada pelos seguintes fatores : variações

na pressão devido às perdas de carga ou elevações no terreno, variações entre emissores devido ao processo de fabricação e possíveis entupimentos. Estabeleceram que em sistema de irrigação localizada o critério seja permitir uma variação na vazão de, no máximo, 10 % entre emissores funcionando simultaneamente.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (1986) apresenta a seguinte classificação para os emissores, dependendo do coeficiente de variação de vazão, caracterizado por :

$$CV = \frac{\sigma}{q_m} \quad (2)$$

onde,

CV : coeficiente de variação de vazão,

σ : desvio padrão,

q_m : vazão média para uma amostra de emissores

CV	Classificação
< 0,10	bom
0,10 a 0,20	médio
0,20 a 0,30	marginal
0,30	inaceitável

NOGUEIRA (1989), estudando micro-aspersores da Dantas modelos MA-70 e MA-120, classificou-os como bons, pela amostra estudada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Introdução

O presente trabalho foi realizado no campus da Universidade Estadual de Campinas em Limeira, São Paulo. Foram estudadas duas linhas laterais de irrigação por micro-aspersão, duas linhas laterais de irrigação por gotejamento, sendo uma "on-line" e outra "in-line", e mais uma linha lateral de irrigação utilizando-se tubos perfurados pelo sistema "xique-xique".

3.2 - Bancada de teste

Para os estudos acima citados, foi montada uma bancada de testes com cem metros de comprimento, composta de : caixa d'água, bomba centrífuga, registro de gaveta, válvula reguladora de pressão, câmara estabilizadora de fluxo, perfis metálicos para suporte das linhas de teste e manômetros tipo "U" de mercúrio, conforme mostram as figuras 02, 03 e 04.

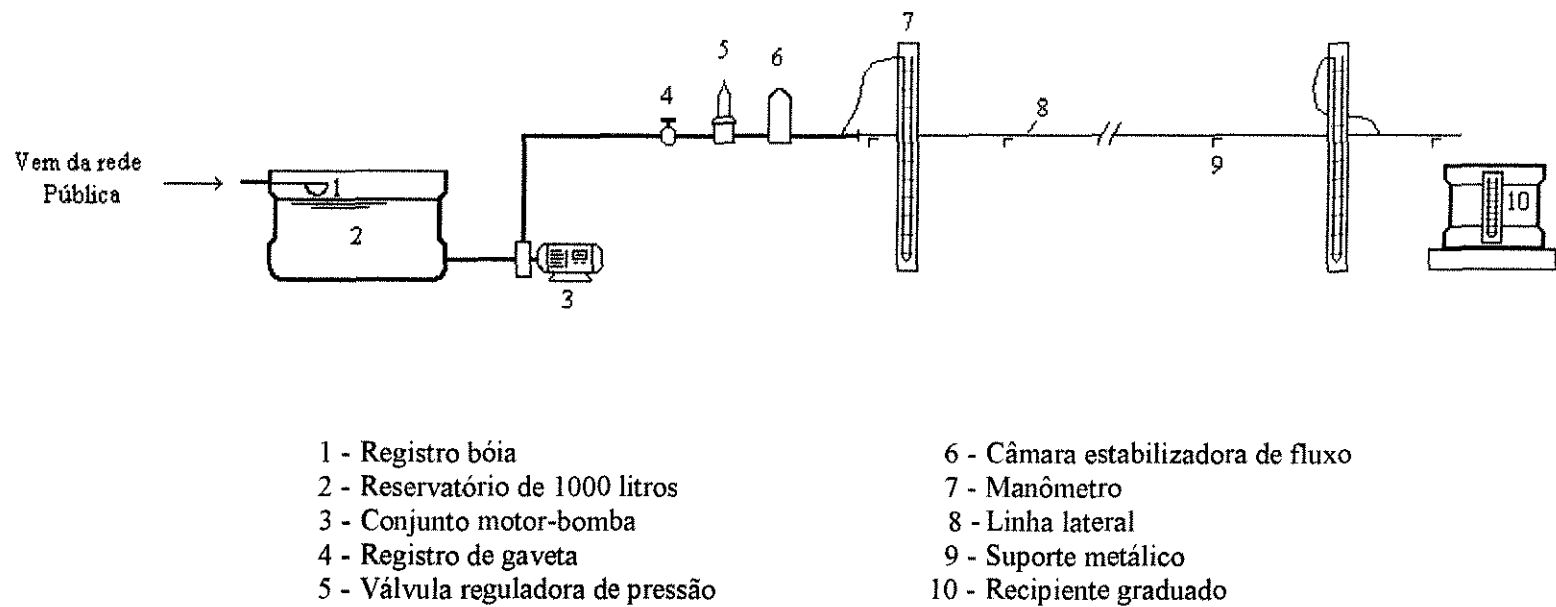


Figura 02 – Croqui da bancada de teste



Figura 03 - Vista geral da bancada de testes.



Figura 04 - Detalhe da bancada de testes.

3.2.1 - Abastecimento de Água

O abastecimento de água foi feito através de uma caixa d'água, mantida a nível constante por meio de um registro de bóia. Foi utilizada água tratada fornecida diretamente da rede pública, figura 04.

3.2.2 - Bomba

Foi utilizada uma bomba da marca Dancor, modelo 114RS, com motor de 1/2 cv, diâmetros de sucção e de recalque de 3/4", rotação de 1750 rpm, e faixa de vazão de 2,4 a 5,5 m³/h para alturas manométricas de 14 a 24 m.c.a., figura 04.

3.2.3 - Válvula Reguladora de Pressão

Para a regulação de pressão no início da linha, foi utilizada uma válvula reguladora de pressão da marca Niagara Comércio e Indústria S. A., referência 163F, figura 04.

3.2.4 - Válvula Estabilizadora de Fluxo

Para se minimizar as oscilações no início da linha, causadas pela bomba, foi utilizada uma câmara estabilizadora de fluxo, composta de um recipiente cilíndrico metálico, sendo seu terço superior limitado por uma chapa perfurada, de modo que quando em regime, forma-se um colchão de ar absolvendo as oscilações mencionadas anteriormente, figura 04.

3.2.5 - Instalação das Linhas de Teste

As linhas de teste foram instaladas sobre perfis metálicos nivelados a um metro do piso e interligados por fio metálico, de modo a manter a tubulação reta e nivelada.

3.2.6 - Manômetro Tipo "U"

As medidas de pressão ao longo da linha lateral foram feitas através de manômetros tipo "U", construído com mangueira plástica transparente com diâmetro de 10 mm, fixada em uma régua metálica com graduação milimétrica; sendo usado o mercúrio como líquido manométrico, figura 05. Os manômetros foram dispostos no início, a um terço, no meio e no final da linha. A inserção dos manômetros na linha foi feita de modo a minimizar a perda de carga localizada. A bancada de testes foi utilizada para todas as linhas, diferindo apenas nas pressões utilizadas no início da linha e na metodologia empregada na medida da vazão, a qual o autor detalha para cada tipo de linha lateral.

3.3 - Determinação do Diâmetro da Tubulação

O diâmetro real da tubulação foi determinado, pesando-se o volume de água destilada contido em um metro de segmento de tubo de cinco amostras coletadas da tubulação em teste, relacionando-o com a densidade da água e com o volume, sendo a densidade da água corrigida em função de sua temperatura, conforme citado por AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1973).



Figura 05 - Manômetro tipo "U"

3.4 - Teste das Linhas Laterais

3.4.1 - Tubulação sem Emissores Inseridos

Inicialmente, foram testadas as tubulações das linhas laterais por micro-aspersão e por gotejamento "on-line", sem os emissores inseridos (micro-aspersores e gotejadores). As tubulações tinham diâmetro nominal de 3/4" e 5/8" e diâmetro real de 22,61 mm e 16,28 mm respectivamente.

Após tubulação ter sido instalada na bancada de teste, foi submetida a diferentes pressões no início da linha. As pressões aplicadas foram as seguintes: 3,80 - 5,90 - 7,70 - 11,60 - 13,90 - 15,70 e 17,70 m.c.a. para a tubulação de 3/4" e 9,00 a 13,00 m.c.a. com incrementos de 11 m.c.a. para a tubulação de 5/8".

Para cada pressão no início da linha mediu-se a pressão ao longo da mesma e a vazão, sendo utilizado para a medição da vazão uma caixa d'água de 250 litros previamente graduada, conforme mostra a figura 06. Para cada teste foram feitas cinco medidas de pressão e vazão.

3.4.2 - Linha Lateral de Micro-aspersão

Foram utilizadas duas linhas laterais de irrigação por micro-aspersão da Dantas Irrigação Ltda, sendo uma com micro-aspersores modelo MA-70, figuras 07 e 08, e outra com micro-aspersores modelo MA-120, tendo como vazão nominal 70 l/h e 120 l/h respectivamente, quando submetidos a pressão de serviço de 15 m.c.a.. Em ambas as linhas foram utilizadas tubulações com diâmetro nominal de 3/4" e diâmetro real de 22,61 mm e micro-aspersores inseridos equidistantemente de cinco metros, figura 09.

Os testes foram feitos para pressão no início da linha variando de 13,5 a 17,5 m.c.a., para a linha com micro-aspersores MA-70 e de 15,0 a 19,0 m.c.a.,

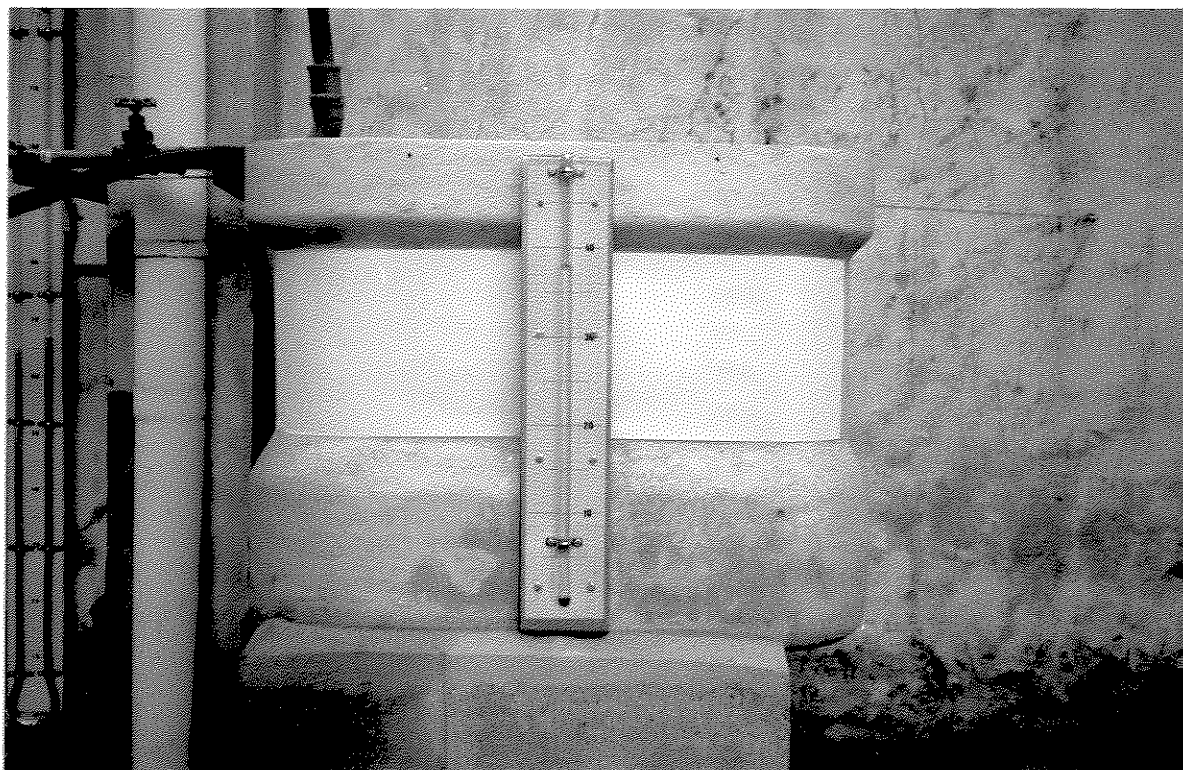


Figura 06 - Recipiente graduado.

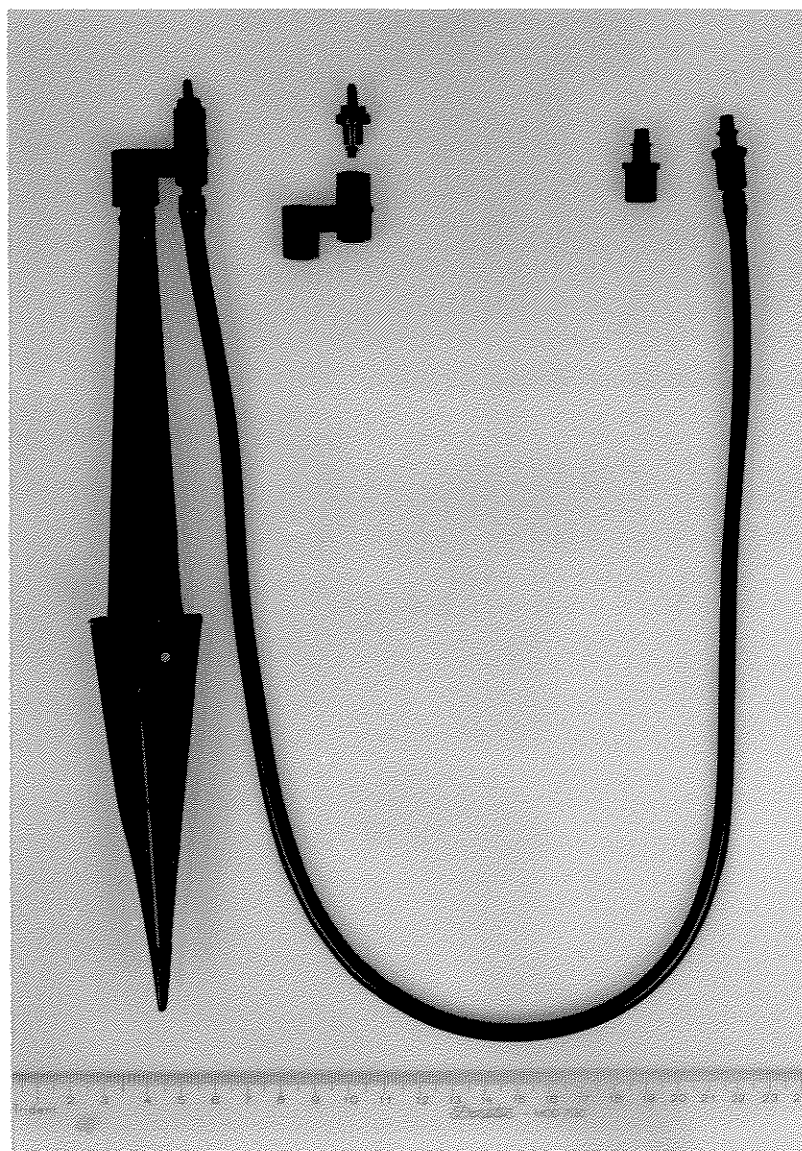


Figura 07 - Micro-aspersor Dantas MA-70.

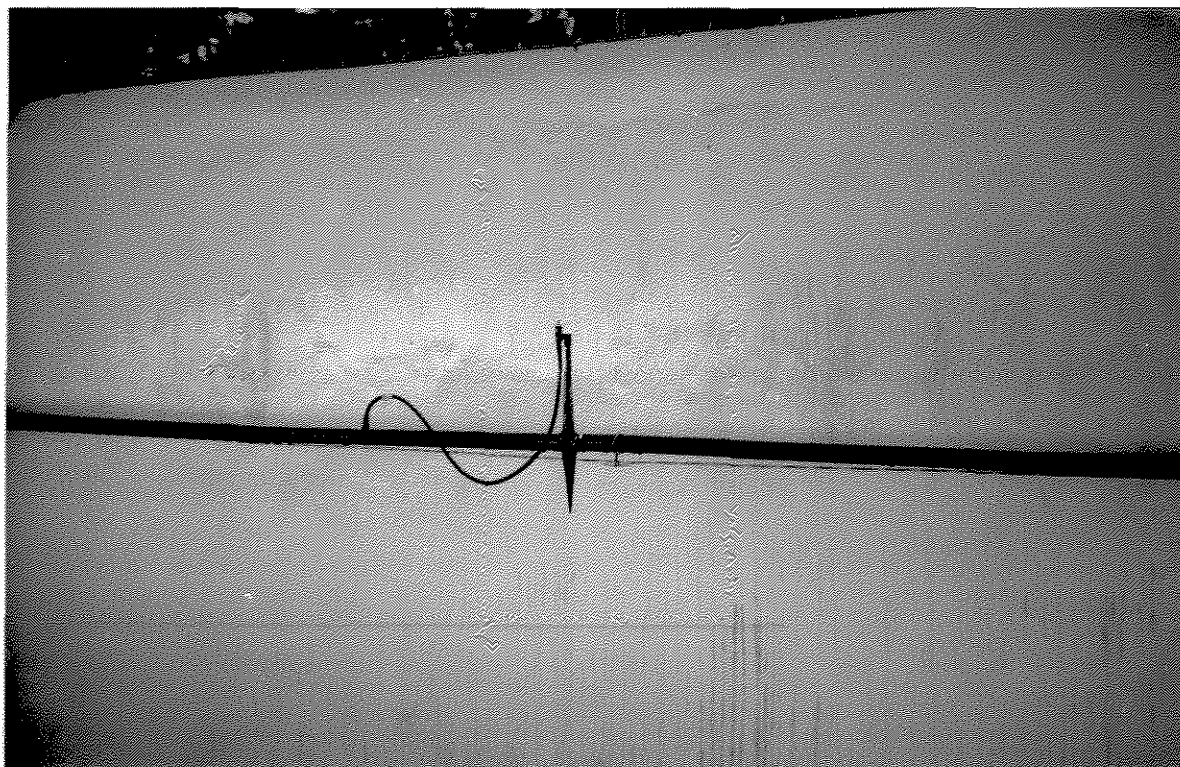


Figura 08 - Detalhe do micro-aspersor inserido na linha .



Figura 09 - Vista geral da linha de micro-aspersão.

para linha com micro-aspersores MA-120, ambos com incrementos de 1 m.c.a.. Tais pressões foram adotadas com base em um pré-dimensionamento da linha, sendo obtida para linha com micro-aspersores MA-70 pressão no início da linha de 15,5 m.c.a., para efeito de teste da linha trabalhou-se com mais quatro diferentes pressões, sendo duas acima e duas abaixo da pressão calculada para o início da linha. O mesmo procedimento foi adotado para linha com micro-aspersores MA-120, cuja pressão calculada no início da linha foi de 19,0 m.c.a., mas devido a bomba não fornecer pressões superiores, foram adotadas para efeito de teste quatro pressões abaixo.

Para cada pressão no início da linha, foram feitas medidas de pressão através de manômetros dispostos ao longo da mesma, conforme descrito anteriormente, e medidas de vazão em cada micro-aspersor. As medidas de vazão foram feitas através de uma cuba de vidro, de modo a não interferir no funcionamento do micro-aspersor, o volume de água coletada foi medido através de um recipiente previamente graduado, com capacidade de 16 litros como mostra a figura 10.

3.4.3 - Linha de Gotejamento "on-line"

Foi utilizada linha de irrigação por gotejamento "on-line" da marca Asbrasil Aspersão do Brasil S.A., figuras 11 e 12, com tubulação de diâmetro nominal de 5/8" e diâmetro real de 16,28 mm e gotejadores inseridos a cada metro, tendo o gotejador vazão nominal de 3,20 l/h quando submetido a pressão de 10 m.c.a..

Os procedimentos para os testes foram os mesmos já descritos para a linha lateral por micro-aspersão, exceto na metodologia aplicada na medição da vazão.

Para a medição da vazão, instalou-se uma calha de lona plástica e fio metálico sob toda a linha, em segmentos de vinte e cinco metros, no final de cada segmento de calha colocou-se um recipiente previamente graduado com capacidade de

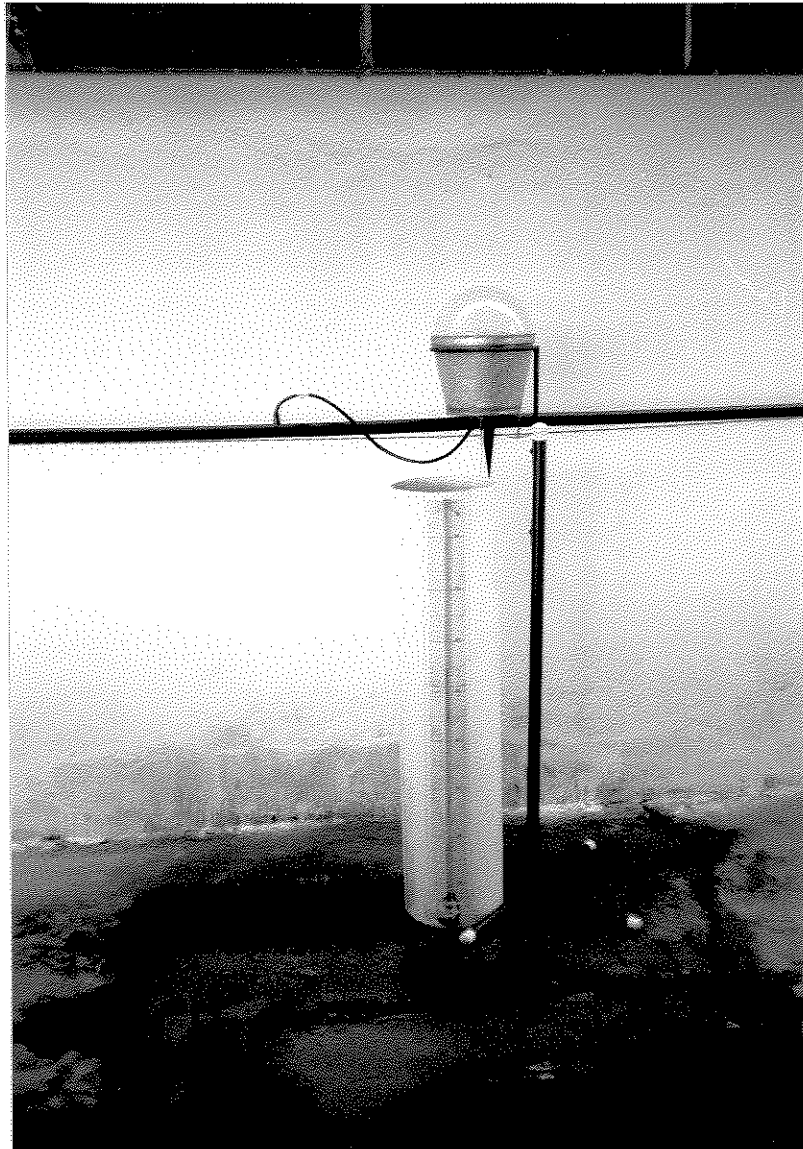


Figura 10 - Coleta de água dos micro-aspersores.

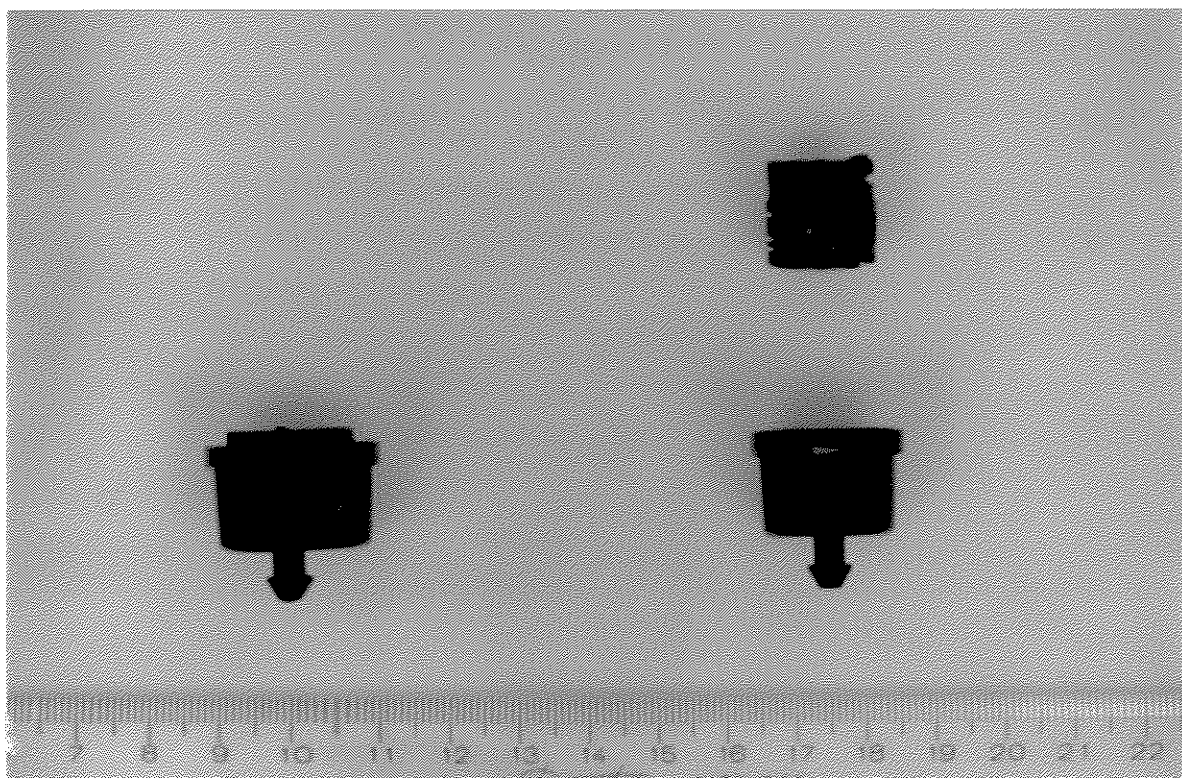


Figura 11 - Gotejador "on-line" da Asbrasil.

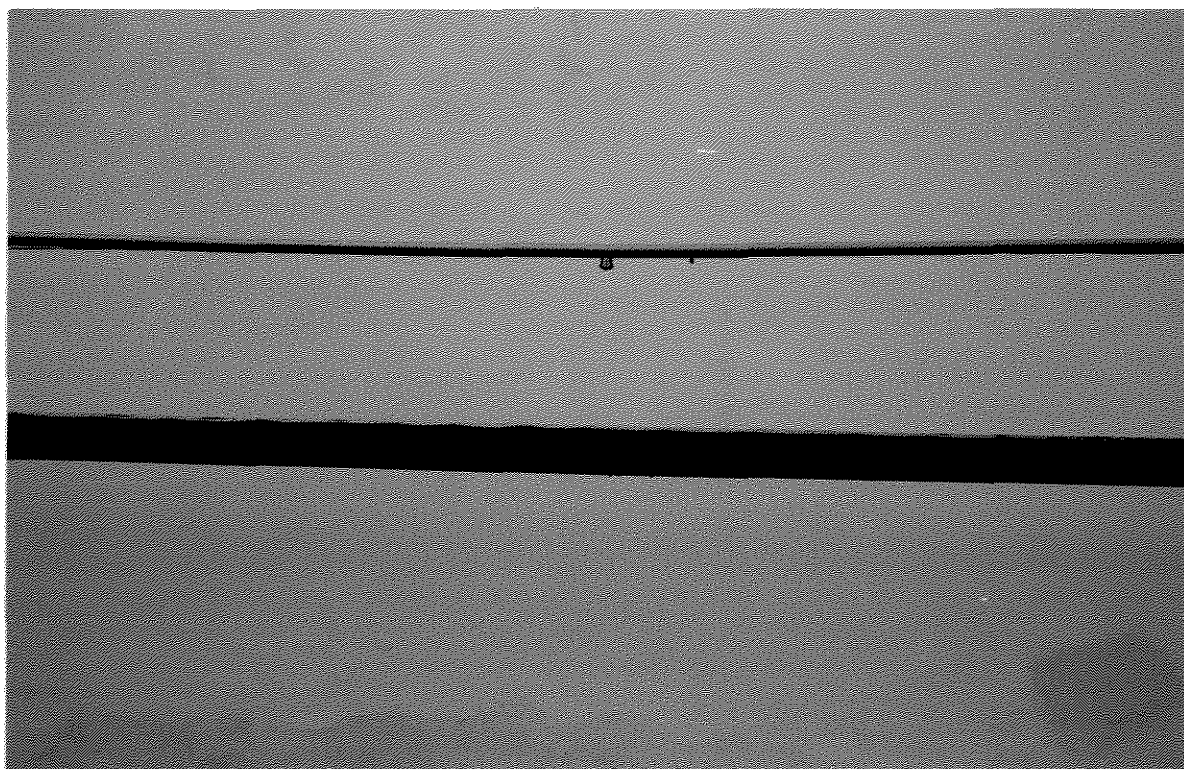


Figura 12 - Detalhe do gotejador "on-line" inserido na linha.

cinquenta litros, de modo que todo volume de água proveniente dos gotejadores localizados em um segmento, fosse coletado e medido através do recipiente, vide figuras 13 e 14. Antes do início de cada teste aguardou-se até que todos os gotejadores contribuíssem na vazão.

As pressões no início da linha variaram de 9 a 13 m.c.a. com incrementos de 1 m.c.a..

3.4.4 - Linha de Gotejamento "in-line"

Foi utilizada linha de irrigação por gotejamento "in-line" da Dantas Irrigação Ltda, figura 15, com tubulação de diâmetro nominal de 1/2" e diâmetro real de 13,07 mm e gotejadores inseridos a cada metro, tendo o gotejador vazão nominal de 4 l/h quando submetido a pressão de 13 m.c.a..

Os procedimentos para os testes foram os mesmos descritos para linha de gotejamento "on-line".

As pressões no início da linha variaram de 13 a 16 m.c.a. com incrementos de 1 m.c.a..

3.4.5 - Linha de Irrigação pelo Sistema "Xique-xique"

Foi utilizada tubulação de diâmetro nominal de 5/8" e diâmetro real de 16,28 mm e emissores a cada metro, executados conforme descrito anteriormente, vide detalhe na figura 16.

Os procedimentos para os testes foram os mesmos descritos para linha de gotejamento "on-line".

As pressões no início da linha variaram de 9 a 13 m.c.a. com incrementos de 1 m.c.a..



Figura 13 - Detalhe da calha de lona plástica.



Figura 14 - Coleta de água dos gotejadores.

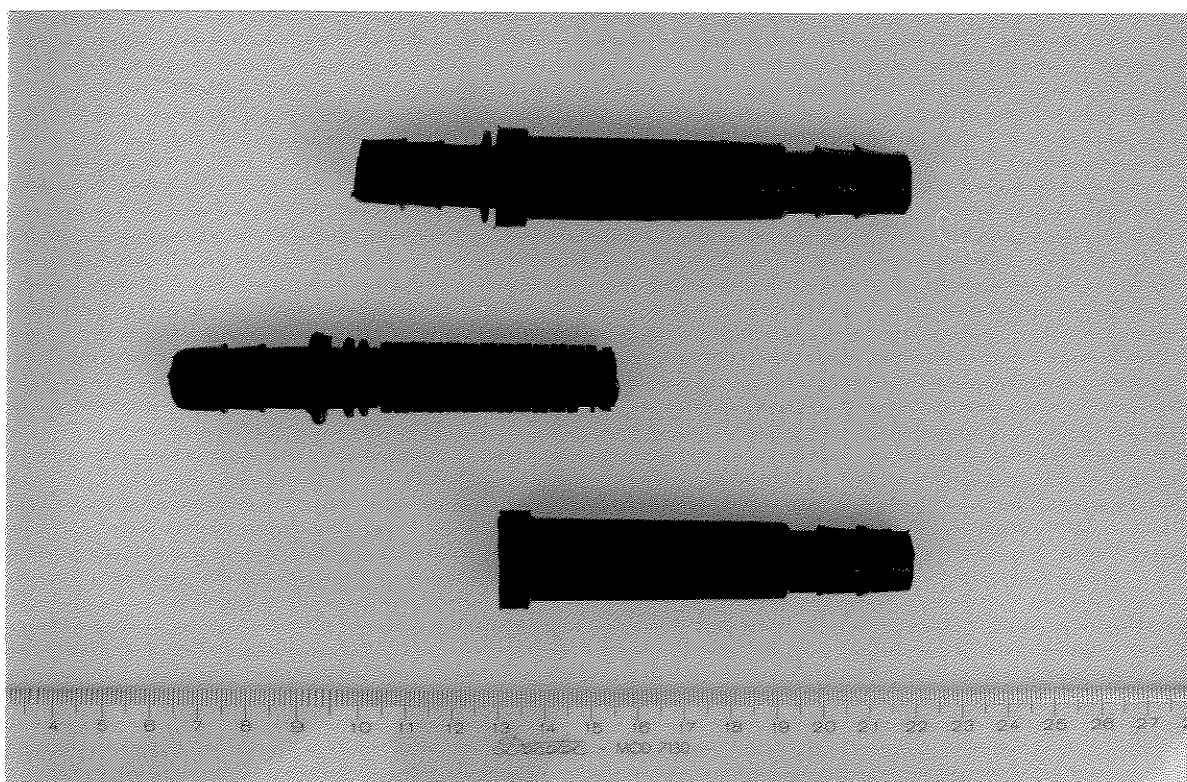


Figura 15 - Gotejador "in-line" da Dantas.

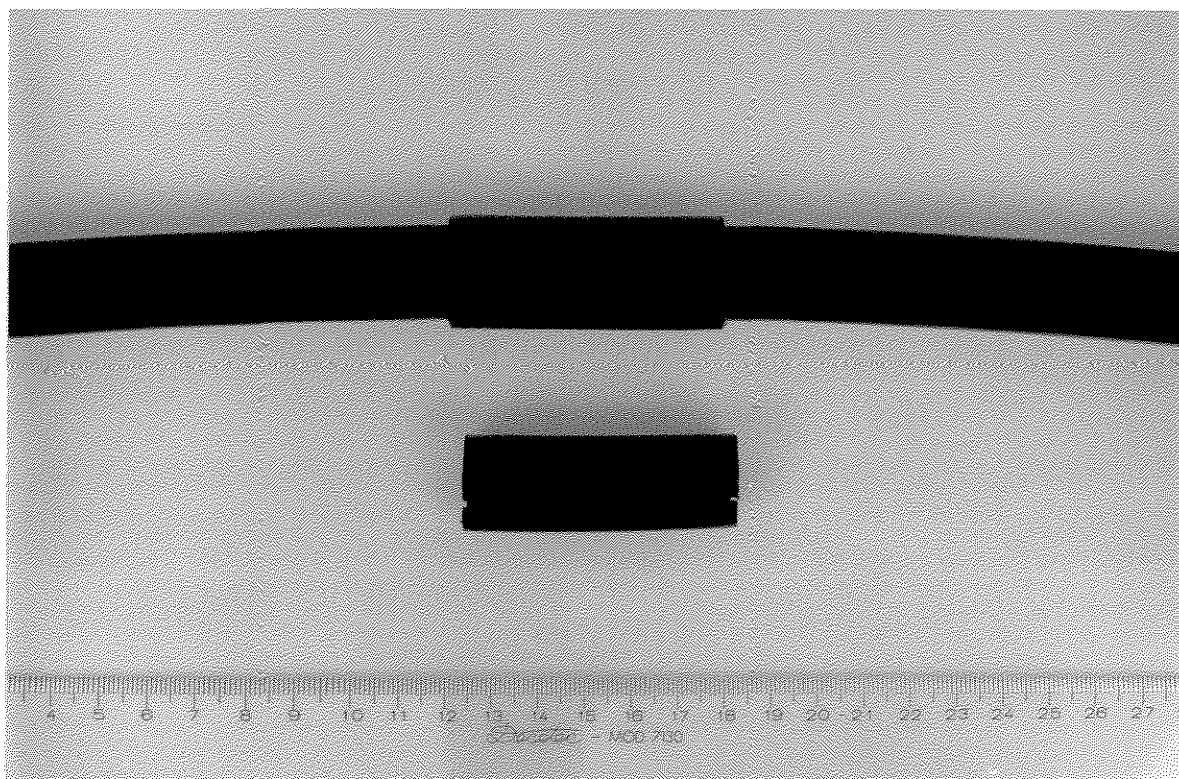


Figura 16 - Emissor "xique-xique".

3.5 - Avaliação dos Micro-aspersores

A avaliação do desempenho dos micro-aspersores foi feita com o objetivo de se comparar as informações fornecidas pelo fabricante, com os resultados obtidos nos testes.

A partir de uma amostra de vinte micro-aspersores de cada modelo, selecionou-se cinco exemplares de cada, adotando-se o seguinte critério : Todos os micro-aspersores foram submetidos a uma pressão de 15 m.c.a. e medida suas vazões, escolheu-se o exemplar que mais aproximou-se da vazão especificada pelo fabricante e os quatro que obtiveram o maior desvio.

Os micro-aspersores selecionados foram submetidos a pressões variando de 12 a 17 m.c.a com incrementos de 1 m.c.a., sendo que para cada pressão mediu-se a sua respectiva vazão, de modo a construir-se uma curva de pressão versus vazão e compará-la com a curva fornecida pelo fabricante.

3.6 - Análise Hidráulica do Sistema

Para cada teste foram avaliados os dados de perda de carga medidos, e comparados com os resultados obtidos a partir do emprego das fórmulas de Hazen-Williams, Flamant e Universal, associadas aos coeficientes de correção de Christiansen e distribuição em marcha ($1/m+1$ e $1/3$), conforme segue :

3.6.1 - Fórmulas

3.6.1.1 - Hazen-Williams

Fórmula empírica aplicada satisfatoriamente para qualquer tipo de conduto e de material, limitada a tubulações com diâmetro de 50 a 3.500 mm. Seu

Fórmula desenvolvida a partir da aplicação da análise dimensional ao problema do movimento de fluídos em tubulações de secção circular. Seu coeficiente de atrito f varia em função do número de Reynolds e da rugosidade relativa da tubulação, AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1973).

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (5)$$

onde :

h_f : perda de carga (m.c.a.),

L : comprimento da tubulação (m),

V : velocidade da água (m/s),

D : diâmetro interno da tubulação (m),

g : aceleração gravidade (m/s^2),

f : coeficiente de atrito, calculado pela fórmula de Blasius, sendo :

$$\text{reg. laminar : } f = 64/Re \quad (6)$$

$$\text{reg. turbulento. : } f = 0,316Re^{-0,25} \quad (7)$$

Re : número de Reynolds.

3.6.2 - Coeficientes de Correção

3.6.2.1 - F de Christiansen

Coeficiente desenvolvido por Christiansen, utilizado em projetos de irrigação para correção da perda de carga, devido às saídas laterais ao longo da linha, OLLITA (1978)

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N} \quad (8)$$

onde :

F : coeficiente de Christiansen,

m : expoente da velocidade da fórmula utilizada,

N : número de saídas laterais.

3.6.2.2 - Distribuição em Marcha (1/m+1)

Coeficiente aplicado no dimensionamento de redes de distribuição de água em cidades, para correção do cálculo da perda de carga devido a distribuição em marcha, NEVES (1968).

$$m1 = \frac{1}{m + 1} \quad (9)$$

onde :

m : expoente da velocidade da fórmula utilizada.

3.6.2.3 - Distribuição em Marcha (1/3)

Coeficiente aplicado no dimensionamento de redes de distribuição de água em cidades, para correção do cálculo da perda de carga devido a distribuição em marcha, AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1973).

$$m2 = \frac{1}{3} \quad (10)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Avaliação da Aplicação das Fórmulas, Associadas aos Coeficientes de Correção.

A avaliação das fórmulas foi feita, comparando-se os resultados por elas obtidos no cálculo da perda de carga com os dados medidos nos testes, sendo considerada a fórmula com melhor desempenho, aquela que apresentou menor soma dos quadrados dos desvios em relação aos dados dos testes.

Para a tubulação sem emissores inseridos, a fórmula Universal apresentou os melhores resultados, como mostra os quadros 01 a 06 e representados graficamente nas figuras 17 e 18, com desvios médios de 5,28 % e 10,67 % e desvios máximos de 5,44 % e 12,38 %, para as tubulações de 3/4" e 5/8" respectivamente. As fórmulas de Hazen-Williams e Flamant não apresentaram um bom desempenho, obtendo desvios máximos da ordem de 19 %.

Para análise dos resultados no caso das tubulações com emissores inseridos, considerou-se cada uma das combinações de fórmulas com os coeficientes de correção. Para comparação com os dados obtidos nos testes, usou-se o mesmo procedimento descrito anteriormente.

Quadro 01- Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para tubulação de 3/4" utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams.

Pi (mca)	Q (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
3,80	1137,10	0,039403	0,036302	8,54
5,90	1445,63	0,061434	0,055319	11,05
7,70	1685,74	0,081632	0,072207	13,05
11,60	2131,53	0,126002	0,108722	15,89
13,90	2351,12	0,151064	0,129118	17,00
15,70	2524,32	0,172293	0,146280	17,78
17,70	2698,79	0,194968	0,164590	18,46
Média				14,54

Quadro 02 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para tubulação de 3/4" utilizando-se a fórmula de Flamant.

Pi (mca)	Q (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
3,80	1137,10	0,040474	0,036302	11,49
5,90	1445,63	0,061607	0,055319	11,37
7,70	1685,74	0,080614	0,072207	11,64
11,60	2131,53	0,121545	0,108722	11,79
13,90	2351,12	0,144298	0,129118	11,36
15,70	2524,32	0,163411	0,146280	11,71
17,70	2698,79	0,183686	0,164590	11,60
Média				11,62

Quadro 03 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para tubulação de 3/4" utilizando-se a fórmula Universal.

Pi (mca)	Q (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
3,80	1137,10	0,038174	0,036302	5,16
5,90	1445,63	0,058107	0,055319	5,04
7,70	1685,74	0,076034	0,072207	5,30
11,60	2131,53	0,114639	0,108722	5,44
13,90	2351,12	0,136099	0,129118	5,41
15,70	2524,32	0,154126	0,146280	5,36
17,70	2698,79	0,173249	0,164590	5,26
Média				5,28

Quadro 04 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para tubulação de 5/8" utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams.

Pi (mca)	Q (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,09	661,06	0,071760	0,062644	14,52
10,09	699,88	0,079141	0,069874	13,26
11,10	732,26	0,086067	0,078736	9,31
12,02	764,64	0,093259	0,081276	14,74
13,10	802,98	0,102408	0,089282	14,70
Média				13,31

Quadro 05 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para tubulação de 5/8" utilizando-se a fórmula de Flamant.

Pi (mca)	Q (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,09	661,06	0,074662	0,062644	19,15
10,09	699,88	0,082504	0,069874	18,08
11,10	732,26	0,089299	0,078736	13,42
12,02	764,64	0,096324	0,081276	18,51
13,10	802,98	0,104936	0,089282	17,53
Média				17,34

Quadro 06 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para tubulação de 5/8" utilizando-se a fórmula Universal.

Pi (mca)	Q (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,09	661,06	0,070421	0,062644	12,38
10,09	699,88	0,077816	0,069874	11,37
11,10	732,26	0,084226	0,078736	6,97
12,02	764,64	0,090851	0,081276	11,78
13,10	802,98	0,098974	0,089282	10,86
Média				10,67

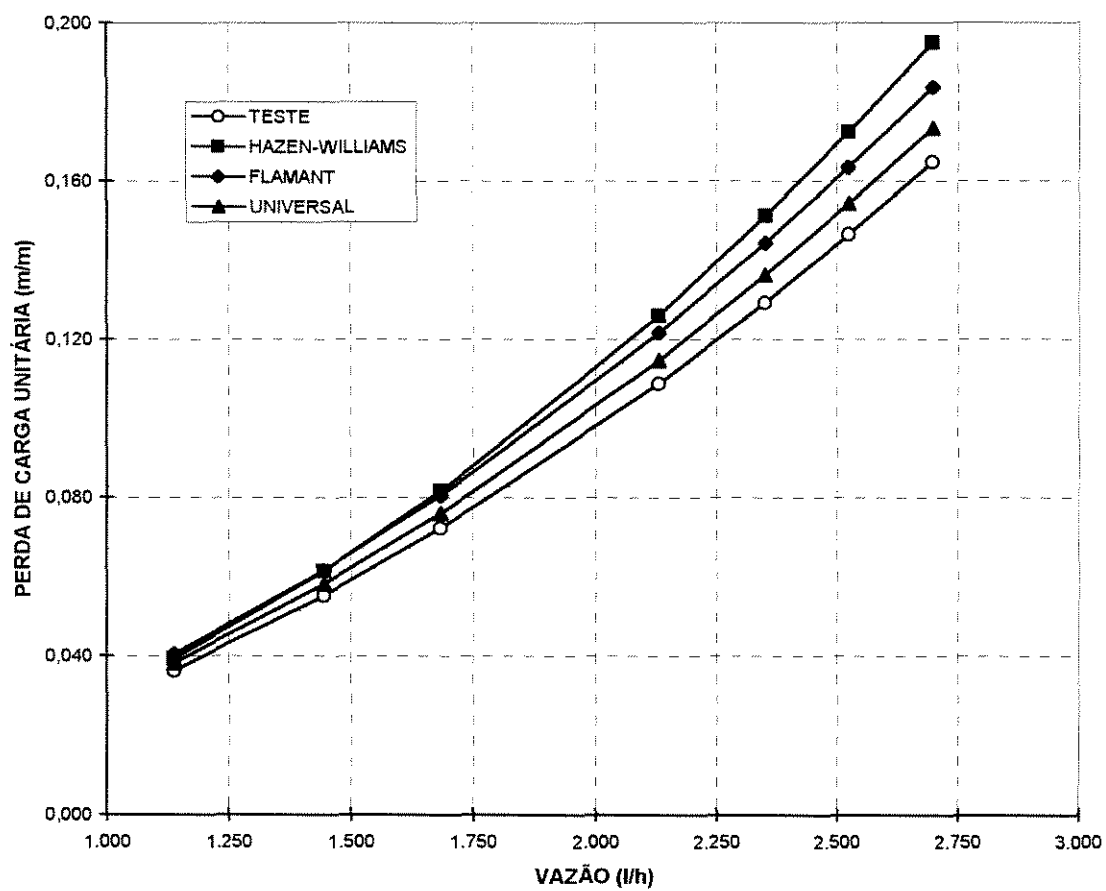


Figura 17 - Curva de perda de carga unitária versus vazão para tubulação de 3/4".

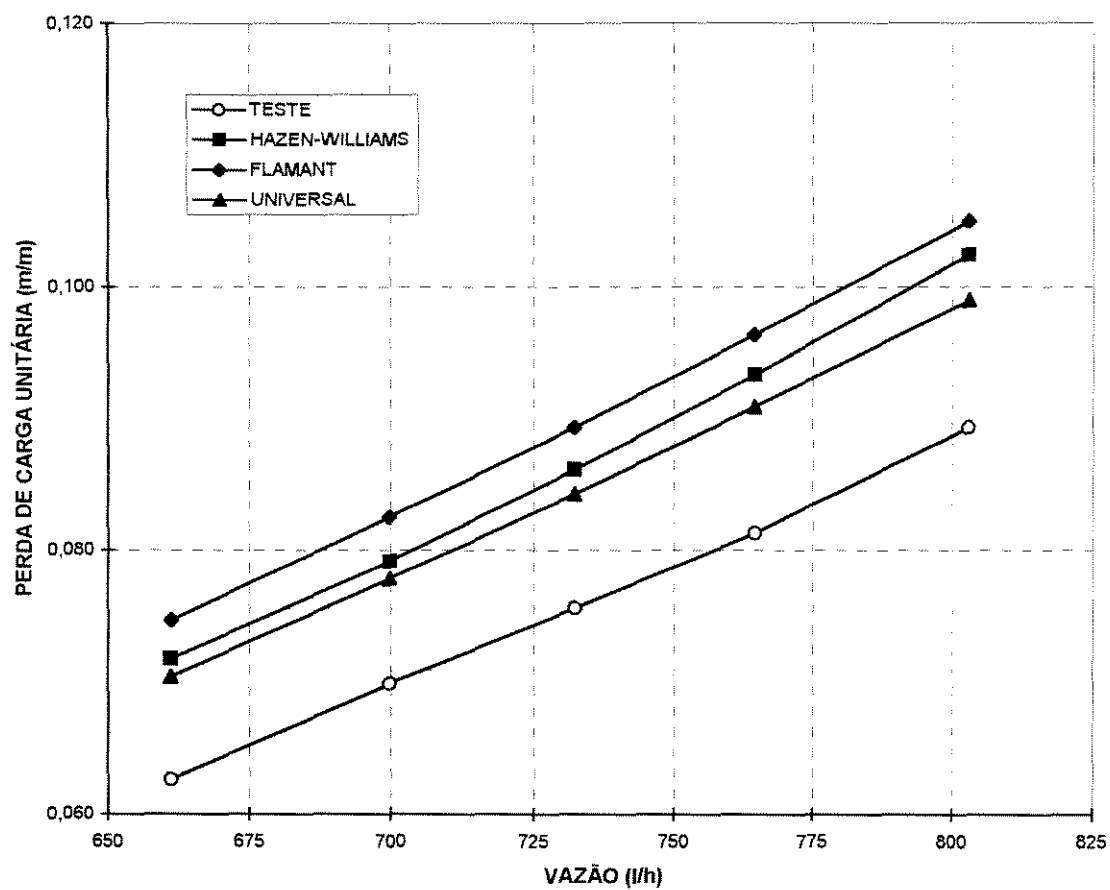


Figura 18 - Curva de perda de carga unitária versus vazão para tubulação de 5/8".

Para as linhas de irrigação por micro-aspersão e gotejamento com gotejadores "on-line", a fórmula Universal associada aos coeficientes de distribuição em marcha m1 e m2, apresentou os melhores resultados com desvios máximos da ordem de 13 %. As fórmulas de Hazen-Williams e Flamant associadas ao coeficiente de distribuição em marcha m2, apresentaram resultados aceitáveis, conforme mostram os quadros 07 a 30 e as figuras 19 a 27.

Portanto a fórmula de Hazen-Williams quando associada ao coeficiente de Christiansen não é apropriada ao dimensionamento de linhas de irrigação localizada, conforme observado por URBINA (1976) & PARAQUEIMA (1977), e em desacordo com VIEIRA & TRINDADE (1986). Já a fórmula de Flamant não apresentou bons resultados, ao contrário do que observou OLIVEIRA (1978), que recomenda sua utilização com os três coeficientes de correção, dependendo do diâmetro e do número de emissores inseridos na linha.

As fórmulas de Hazen-Williams e Flamant não apresentaram bons resultados, provavelmente devido a seus coeficientes C e b, respectivamente, serem considerados como constantes, de acordo com as características da tubulação; enquanto o coeficiente f da fórmula Universal, varia em função do número de Reynolds, conforme observado por ASSY (1877), OLIVEIRA (1978) e BOTREL (1984).

No caso da linha de gotejamento com gotejadores "in-line", todas as combinações de fórmulas e coeficientes de correção mostraram-se totalmente inadequadas, com desvios acima de 30 %, vide quadros 31 a 38 e figuras 28 a 30.

Tal fato provavelmente tenha ocorrido, devido ao comprimento equivalente para gotejadores "in-line" indicado por FERNÁNDEZ (1993), não ser apropriado ao modelo de gotejador utilizado. Pois, com a inserção do gotejador na linha, ocorrem perdas de carga localizadas específicas, dependendo das características do gotejador, tais como :

- Diminuição de secção no comprimento total do gotejador, sendo que para o gotejador utilizado, sua área foi reduzida na ordem de 50%,

Quadro 07 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-70, utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
13,47	1287,27	67,75	0,018710	0,016050	16,57
14,51	1326,20	69,80	0,019770	0,016996	16,32
15,49	1385,22	72,91	0,021428	0,018188	17,81
16,53	1438,13	75,69	0,022967	0,019433	18,81
17,58	1501,43	79,02	0,024872	0,020987	18,51
Média					17,60

Quadro 08 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-70, utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente ml.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
13,47	1287,27	67,75	0,017385	0,016050	8,32
14,51	1326,20	69,80	0,018370	0,016996	8,08
15,49	1385,22	72,91	0,019911	0,018188	9,47
16,53	1438,13	75,69	0,021340	0,019433	9,81
17,58	1501,43	79,02	0,023111	0,020987	10,12
Média					9,16

Quadro 09 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-70, utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
13,47	1287,27	67,75	0,016515	0,016050	2,90
14,51	1326,20	69,80	0,017451	0,016996	2,68
15,49	1385,22	72,91	0,018915	0,018188	3,99
16,53	1438,13	75,69	0,020273	0,019433	4,32
17,58	1501,43	79,02	0,021955	0,020987	4,62
Média					3,70

Quadro 10 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-70, utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
13,47	1287,27	67,75	0,019629	0,016050	22,29
14,51	1326,20	69,80	0,020680	0,016996	21,68
15,49	1385,22	72,91	0,022317	0,018188	22,70
16,53	1438,13	75,69	0,023830	0,019433	22,63
17,58	1501,43	79,02	0,025696	0,020987	22,44
Média					22,35

Quadro 11 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-70, utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m1.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
13,47	1287,27	67,75	0,018286	0,016050	13,93
14,51	1326,20	69,80	0,019265	0,016996	13,35
15,49	1385,22	72,91	0,020790	0,018188	14,30
16,53	1438,13	75,69	0,022199	0,019433	14,63
17,58	1501,43	79,02	0,023937	0,020987	14,06
Média					14,05

Quadro 12 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-70, utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
13,47	1287,27	67,75	0,016762	0,016050	4,44
14,51	1326,20	69,80	0,017659	0,016996	3,90
15,49	1385,22	72,91	0,019058	0,018188	4,78
16,53	1438,13	75,69	0,020349	0,019433	4,71
17,58	1501,43	79,02	0,021943	0,020987	4,56
Média					4,48

Quadro 13 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-70, utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
13,47	1287,27	67,75	0,017080	0,016050	6,42
14,51	1326,20	69,80	0,017994	0,016996	5,87
15,49	1385,22	72,91	0,019419	0,018188	6,76
16,53	1438,13	75,69	0,020735	0,019433	6,70
17,58	1501,43	79,02	0,022358	0,020987	6,54
Média					6,46

Quadro 14 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-70, utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente m1 e m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
13,47	1287,27	67,75	0,015810	0,016050	1,50
14,51	1326,20	69,80	0,016656	0,016996	2,00
15,49	1385,22	72,91	0,017975	0,018188	1,18
16,53	1438,13	75,69	0,019193	0,019433	1,24
17,58	1501,43	79,02	0,020696	0,020987	1,38
Média					1,46

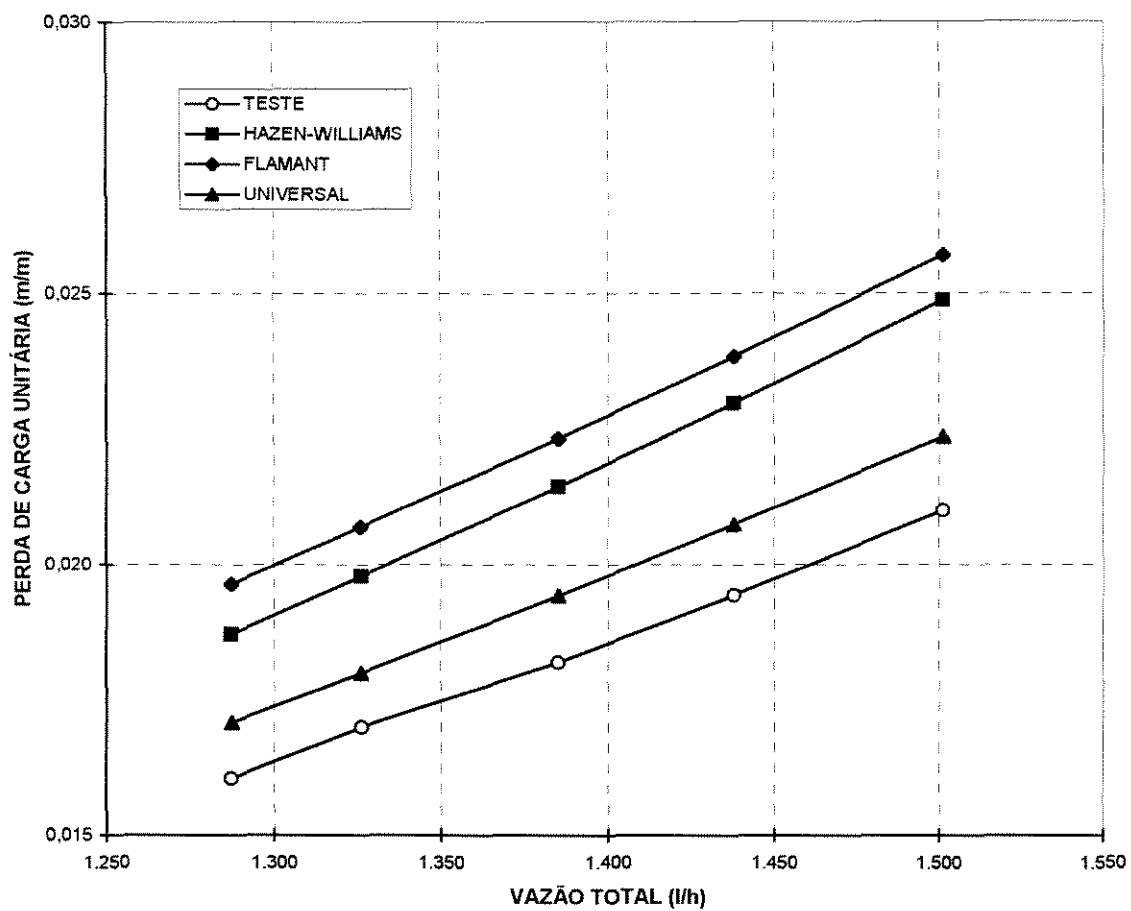


Figura 19 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente F, para linha com micro-aspersores MA-70.

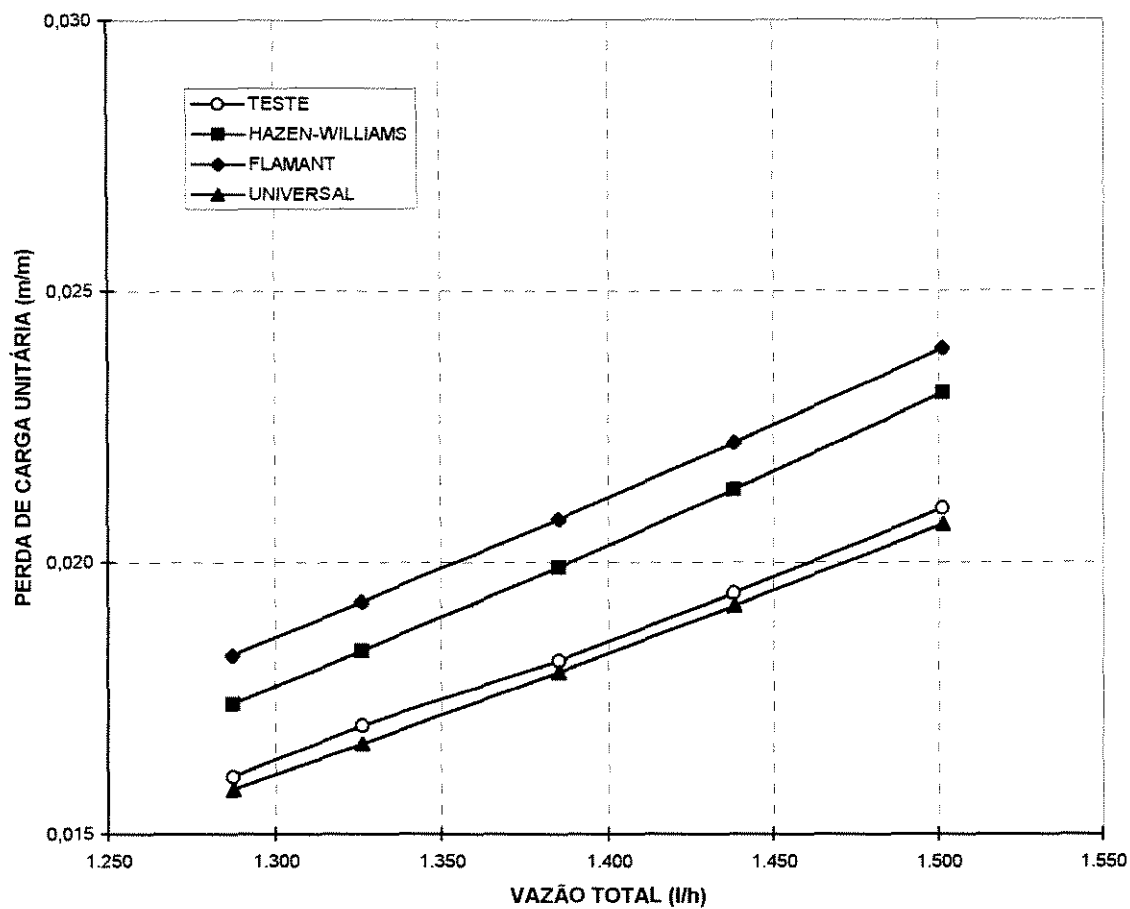


Figura 20 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_1 , para linha com micro-aspersores MA-70.

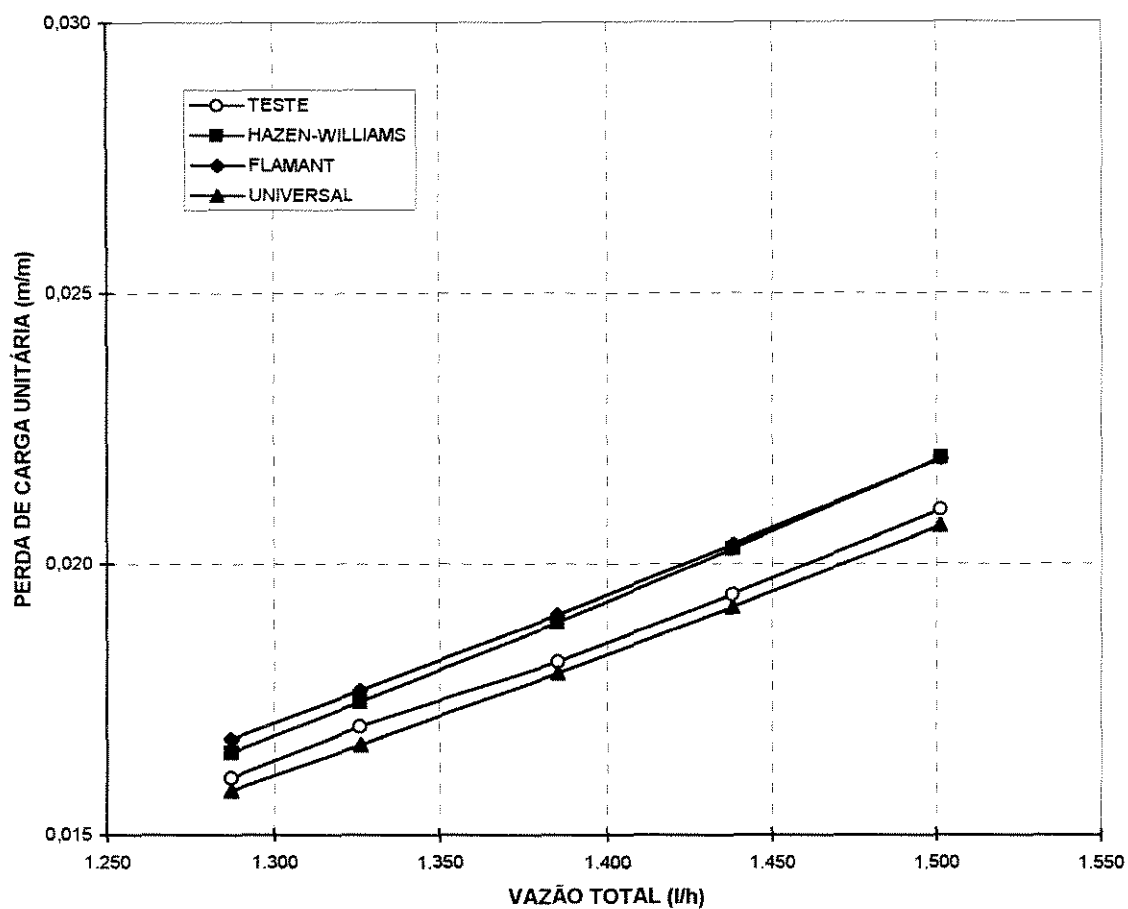


Figura 21 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_2 , para linha com micro-aspersores MA-70.

Quadro 15 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-120, utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
15,12	1783,94	93,85	0,034216	0,028386	20,54
16,05	1843,48	97,03	0,036359	0,030117	20,50
17,04	1908,11	100,43	0,038752	0,031436	24,78
18,05	1982,00	104,32	0,041574	0,033319	14,78
19,01	2024,90	106,57	0,043254	0,034433	25,62
Média					20,94

Quadro 16 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-120, utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m1.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
15,12	1783,94	93,85	0,031793	0,028386	12,00
16,05	1843,48	97,03	0,033784	0,030117	11,97
17,04	1908,11	100,43	0,036008	0,031436	14,54
18,05	1982,00	104,32	0,038630	0,033319	15,94
19,01	2024,90	106,57	0,040191	0,034433	16,72
Média					14,23

Quadro 17 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-120, utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
15,12	1783,94	93,85	0,030203	0,028386	6,40
16,05	1843,48	97,03	0,032095	0,030117	6,37
17,04	1908,11	100,43	0,034207	0,031436	8,82
18,05	1982,00	104,32	0,036698	0,033319	10,14
19,01	2024,90	106,57	0,038181	0,034433	10,88
Média					8,52

Quadro 18 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-120, utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
15,12	1783,94	93,85	0,034746	0,028386	22,40
16,05	1843,48	97,03	0,036800	0,030117	21,96
17,04	1908,11	100,43	0,039088	0,031436	24,34
18,05	1982,00	104,32	0,041775	0,033319	25,38
19,01	2024,90	106,57	0,043370	0,034433	25,95
Média					24,01

Quadro 19 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-120, utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m1.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
15,12	1783,94	93,85	0,032368	0,028386	14,03
16,05	1843,48	97,03	0,034282	0,030117	13,62
17,04	1908,11	100,43	0,036413	0,031436	15,83
18,05	1982,00	104,32	0,038916	0,033319	16,80
19,01	2024,90	106,57	0,040402	0,034433	17,33
Média					15,52

Quadro 20 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-120, utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
15,12	1783,94	93,85	0,029670	0,028386	4,52
16,05	1843,48	97,03	0,031425	0,030117	4,15
17,04	1908,11	100,43	0,033378	0,031436	6,18
18,05	1982,00	104,32	0,035673	0,033319	7,07
19,01	2024,90	106,57	0,037035	0,034433	7,56
Média					5,90

Quadro 21 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-120, utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
15,12	1783,94	93,85	0,030233	0,028386	6,50
16,05	1843,48	97,03	0,032020	0,030117	6,12
17,04	1908,11	100,43	0,034011	0,031436	8,19
18,05	1982,00	104,32	0,036349	0,033319	9,09
19,01	2024,90	106,57	0,037737	0,034433	9,59
Média					7,90

Quadro 22 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de micro-aspersão MA-120, utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente m1 e m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
15,12	1783,94	93,85	0,027984	0,028386	1,42
16,05	1843,48	97,03	0,029639	0,030117	1,77
17,04	1908,11	100,43	0,031428	0,031436	0,14
18,05	1982,00	104,32	0,033646	0,033319	0,98
19,01	2024,90	106,57	0,034931	0,034433	1,44
Média					1,15

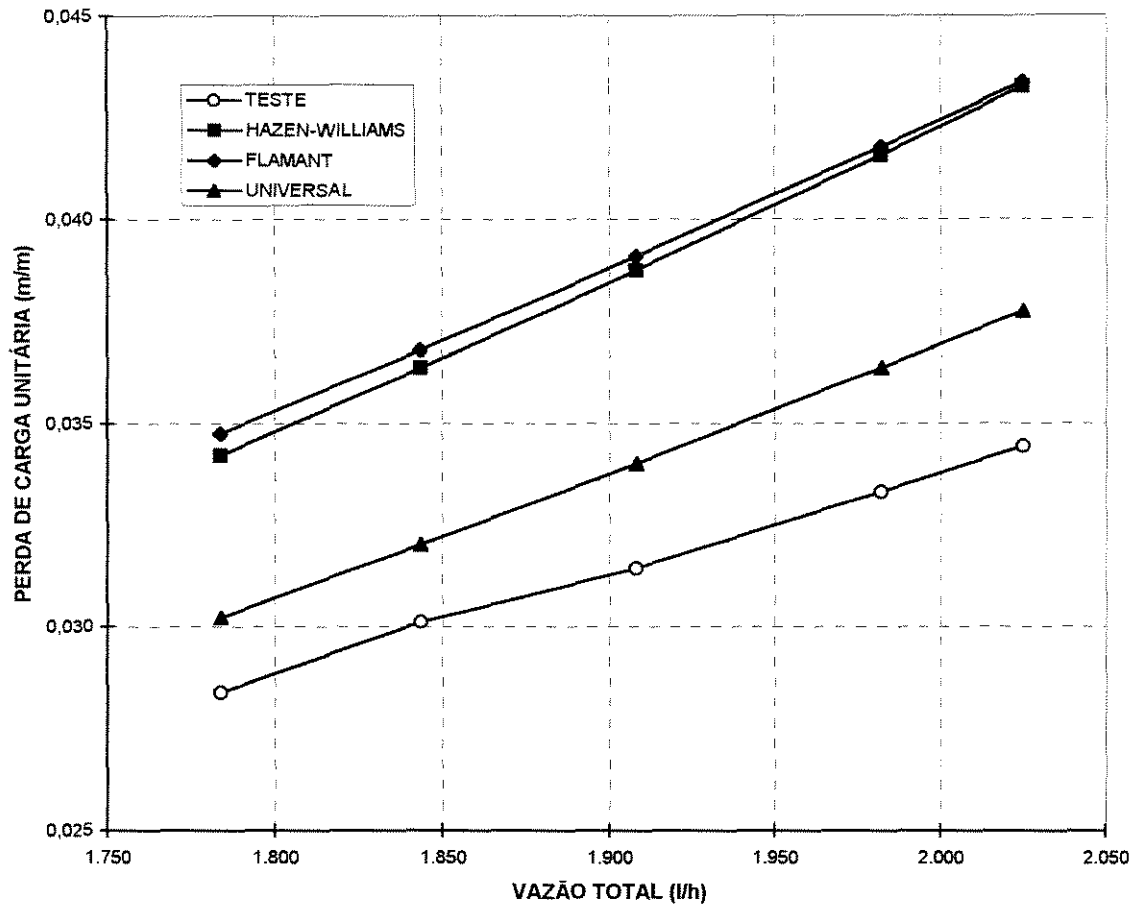


Figura 22 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente F, para linha com micro-aspersores MA-120.

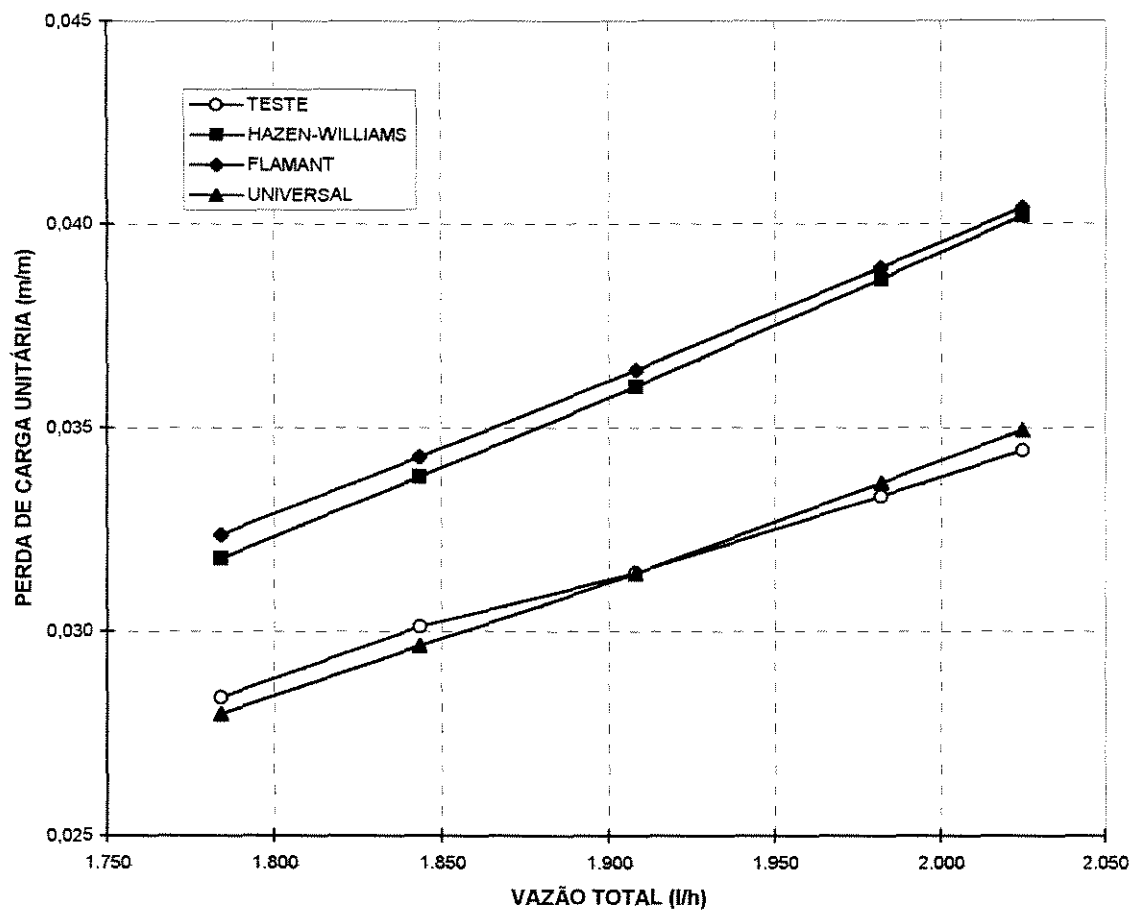


Figura 23 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_1 , para linha com micro-aspersores MA-120.

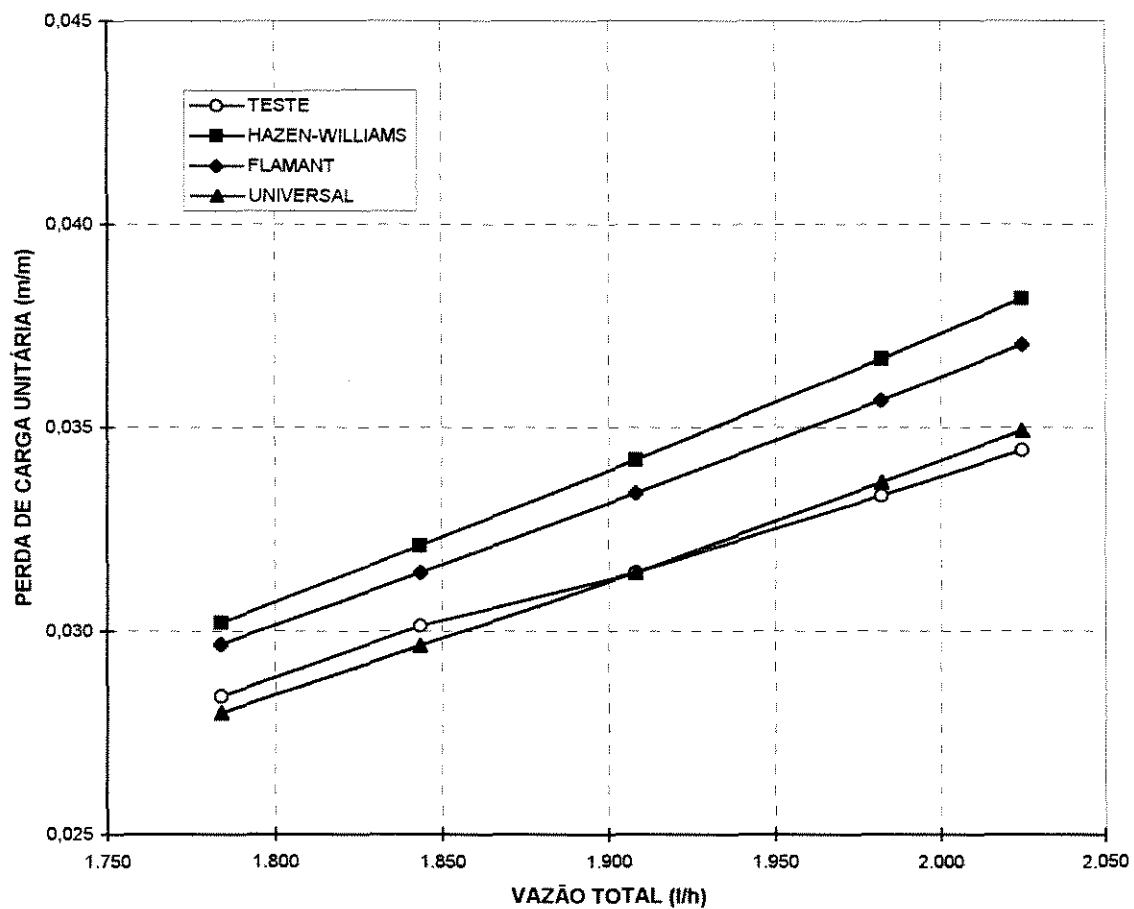


Figura 24 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_2 , para linha com micro-aspersores MA-120.

Quadro 23 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "on-line", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,07	276,44	2,76	0,005097	0,005034	1,25
10,02	290,12	2,90	0,005597	0,005412	3,42
11,08	311,02	3,11	0,006253	0,006050	3,36
12,00	321,56	3,22	0,006663	0,006440	3,46
13,03	335,64	3,36	0,007227	0,006944	4,08
Média					3,11

Quadro 24 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "on-line", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m1.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,07	276,44	2,76	0,005025	0,005034	0,18
10,02	290,12	2,90	0,005519	0,005412	1,98
11,08	311,02	3,11	0,006125	0,006050	1,23
12,00	321,56	3,22	0,006569	0,006440	2,00
13,03	335,64	3,36	0,007126	0,006944	2,62
Média					1,60

Quadro 25 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "on-line", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
19,07	276,44	2,76	0,004774	0,005034	5,16
10,02	290,12	2,90	0,005243	0,005412	3,12
11,08	311,02	3,11	0,005857	0,006050	3,19
12,00	321,56	3,22	0,006241	0,006440	3,09
13,03	335,64	3,36	0,006769	0,006944	2,52
Média					3,42

Quadro 26 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "on-line", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,07	276,44	2,76	0,005985	0,005034	18,89
10,02	290,12	2,90	0,006513	0,005412	20,34
11,08	311,02	3,11	0,007357	0,006050	21,60
12,00	321,56	3,22	0,007798	0,006440	21,09
13,03	335,64	3,36	0,008406	0,006944	21,05
Média					20,52

Quadro 27 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "on-line", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m1.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,07	276,44	2,76	0,005904	0,005034	17,28
10,02	290,12	2,90	0,006425	0,005412	18,72
11,08	311,02	3,11	0,007256	0,006050	19,93
12,00	321,56	3,22	0,007692	0,006440	19,44
13,03	335,64	3,36	0,008291	0,006944	19,40
Média					18,95

Quadro 28 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "on-line", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,07	276,44	2,76	0,005412	0,005034	7,51
10,02	290,12	2,90	0,005889	0,005412	8,81
11,08	311,02	3,11	0,006652	0,006050	9,95
12,00	321,56	3,22	0,007051	0,006440	9,49
13,03	335,64	3,36	0,007601	0,006944	9,46
Média					9,04

Quadro 29 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "on-line", utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,07	276,44	2,76	0,005181	0,005034	2,92
10,02	290,12	2,90	0,005638	0,005412	4,18
11,08	311,02	3,11	0,006368	0,006050	5,26
12,00	321,56	3,22	0,006751	0,006440	4,83
13,03	335,64	3,36	0,007277	0,006944	4,80
Média					4,40

Quadro 30 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "on-line", utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente m1 e m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,07	276,44	2,76	0,005104	0,005034	1,39
10,02	290,12	2,90	0,005555	0,005412	2,64
11,08	311,02	3,11	0,006274	0,006470	3,70
12,00	321,56	3,22	0,006651	0,006440	3,28
13,03	335,64	3,36	0,007169	0,006944	3,24
Média					2,85

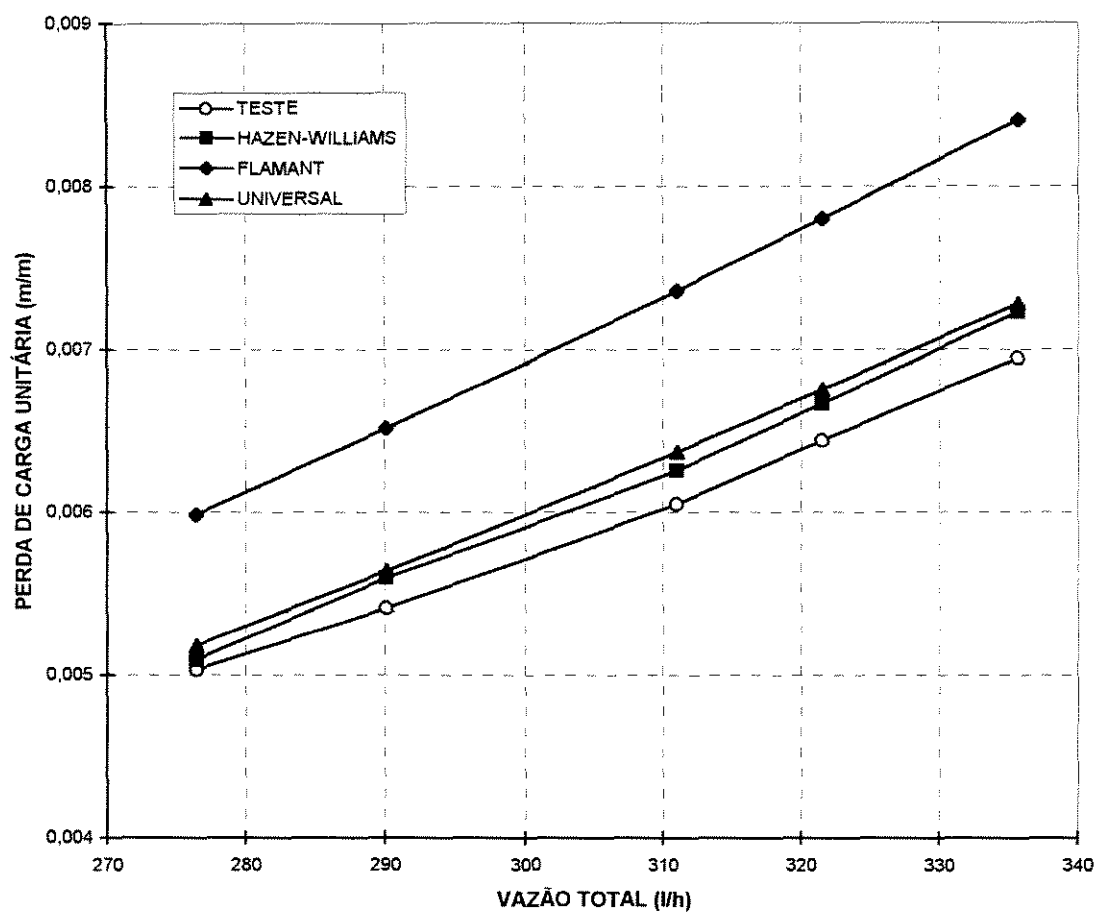


Figura 25 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente F, para linha com gotejadores "on-line".

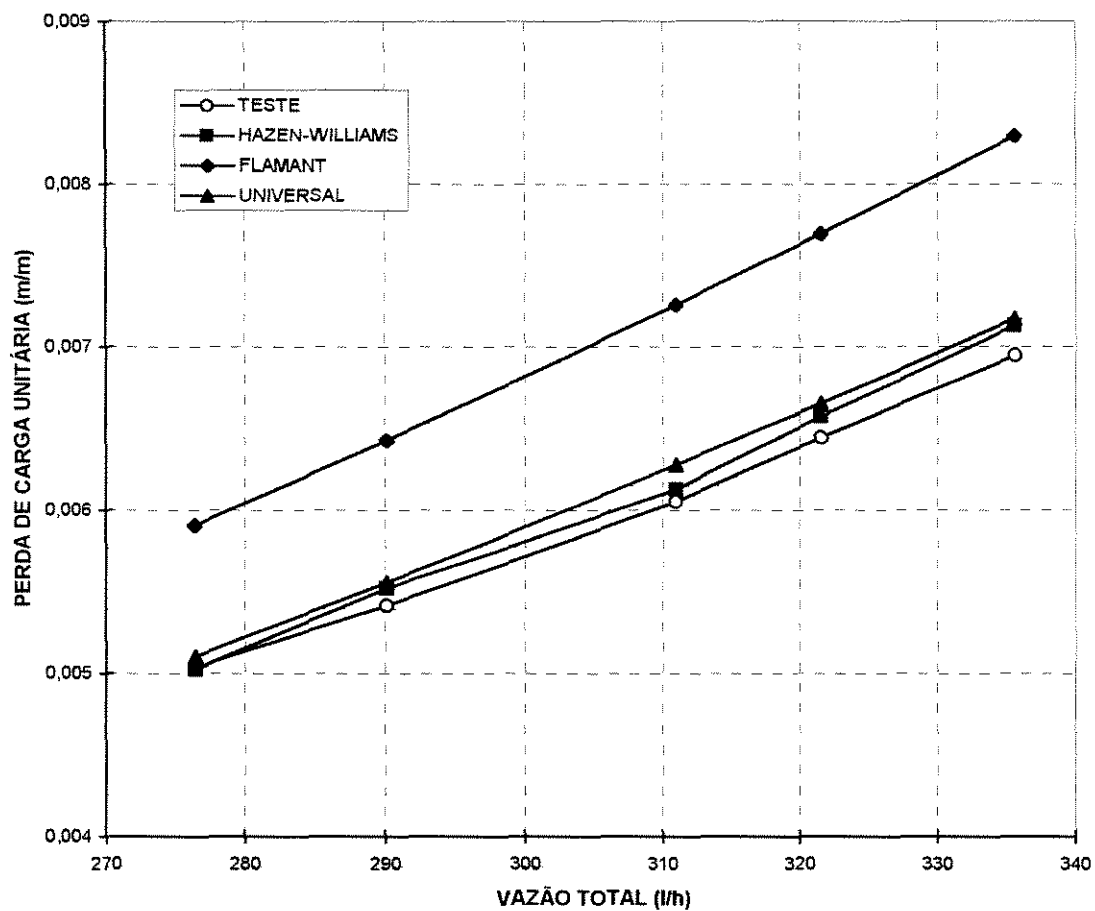


Figura 26 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m1, para linha com gotejadores "on-line".

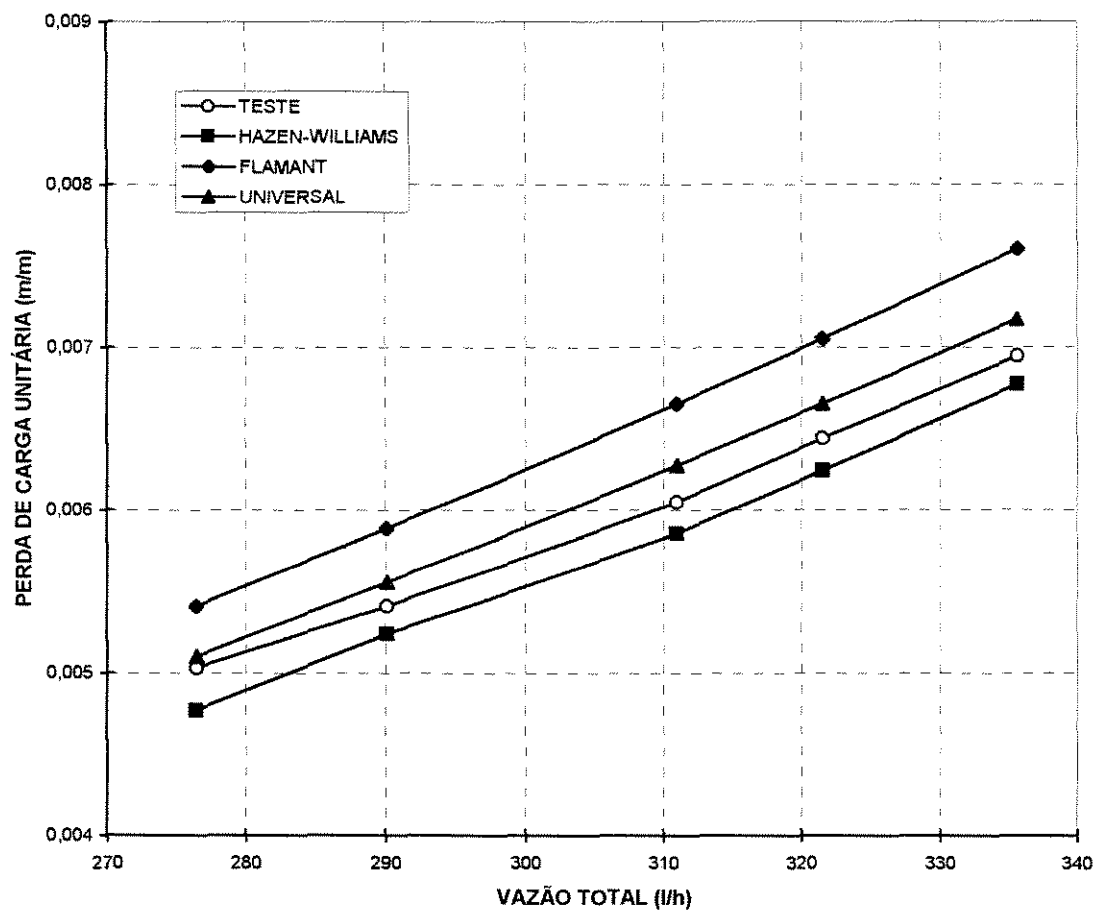


Figura 27 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_2 , para linha com gotejadores "on-line".

Quadro 31 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,026532	0,043604	39,15
13,03	362,58	3,63	0,029145	0,046285	37,03
14,03	377,52	3,78	0,031316	0,049548	36,80
15,01	388,79	3,89	0,032992	0,052931	37,67
16,10	402,77	4,03	0,035288	0,057125	38,23
Média					37,78

Quadro 32 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m1.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,026523	0,043604	39,17
13,03	362,58	3,63	0,029135	0,046285	37,05
14,03	377,52	3,78	0,031305	0,049548	36,82
15,01	388,79	3,89	0,032980	0,052931	37,69
16,10	402,77	4,03	0,035276	0,057125	38,25
Média					37,80

Quadro 33 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,025197	0,043604	42,21
13,03	362,58	3,63	0,027678	0,046285	40,20
14,03	377,52	3,78	0,029740	0,049548	39,98
15,01	388,79	3,89	0,031331	0,052931	40,81
16,10	402,77	4,03	0,033512	0,057125	41,34
Média					40,91

Quadro 34 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,030090	0,043604	30,99
13,03	362,58	3,63	0,032843	0,046285	29,04
14,03	377,52	3,78	0,035247	0,049548	28,86
15,01	388,79	3,89	0,036589	0,052931	30,87
16,10	402,77	4,03	0,039476	0,057125	30,90
Média					30,13

Quadro 35 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m1.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,029668	0,043604	31,96
13,03	362,58	3,63	0,032383	0,046285	30,04
14,03	377,52	3,78	0,034753	0,049548	29,86
15,01	388,79	3,89	0,037109	0,052931	29,89
16,10	402,77	4,03	0,038923	0,057125	31,86
Média					30,72

Quadro 36 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,027196	0,043604	37,63
13,03	362,58	3,63	0,029684	0,046285	35,87
14,03	377,52	3,78	0,031857	0,049548	35,70
15,01	388,79	3,89	0,033540	0,052931	36,63
16,10	402,77	4,03	0,035679	0,057125	37,54
Média					36,68

Quadro 37 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,025660	0,043604	41,15
13,03	362,58	3,63	0,028008	0,046285	39,49
14,03	377,52	3,78	0,030058	0,049548	39,34
15,01	388,79	3,89	0,031646	0,052931	40,21
16,10	402,77	4,03	0,033664	0,057125	41,07
Média					40,25

Quadro 38 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente m1 e m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,025650	0,043604	41,18
13,03	362,58	3,63	0,027998	0,046285	39,51
14,03	377,52	3,78	0,030047	0,049548	39,36
15,01	388,79	3,89	0,031646	0,052931	40,21
16,10	402,77	4,03	0,033651	0,057125	41,09
Média					40,27

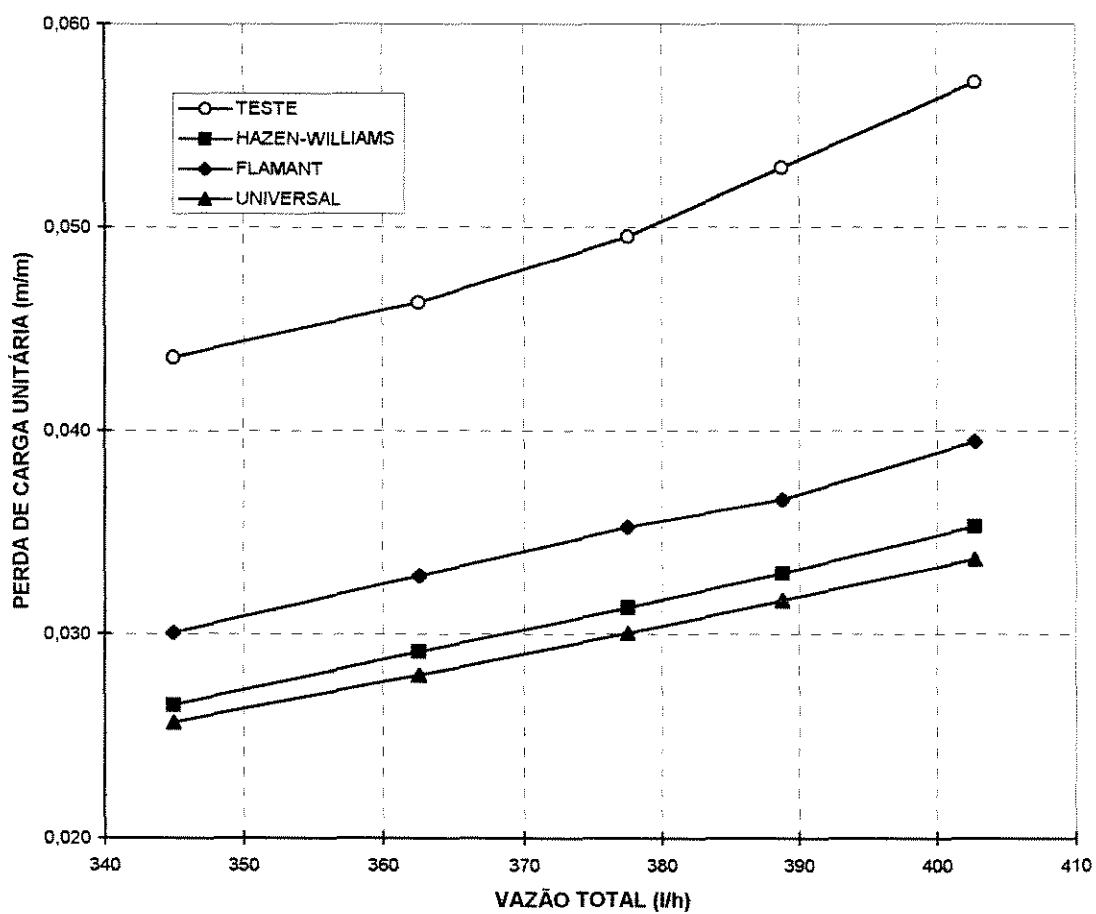


Figura 28 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente F, para linha com gotejadores "in-line".

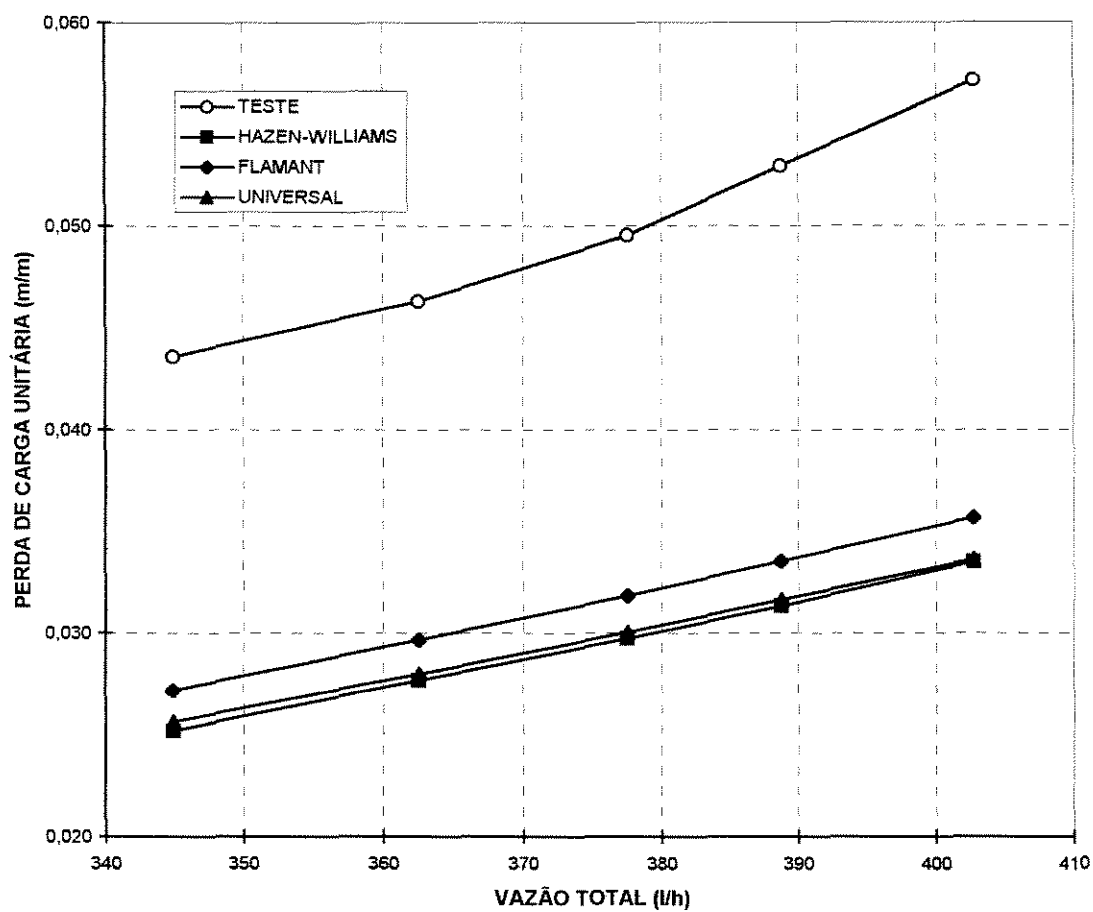


Figura 29 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_1 , para linha com gotejadores "in-line".

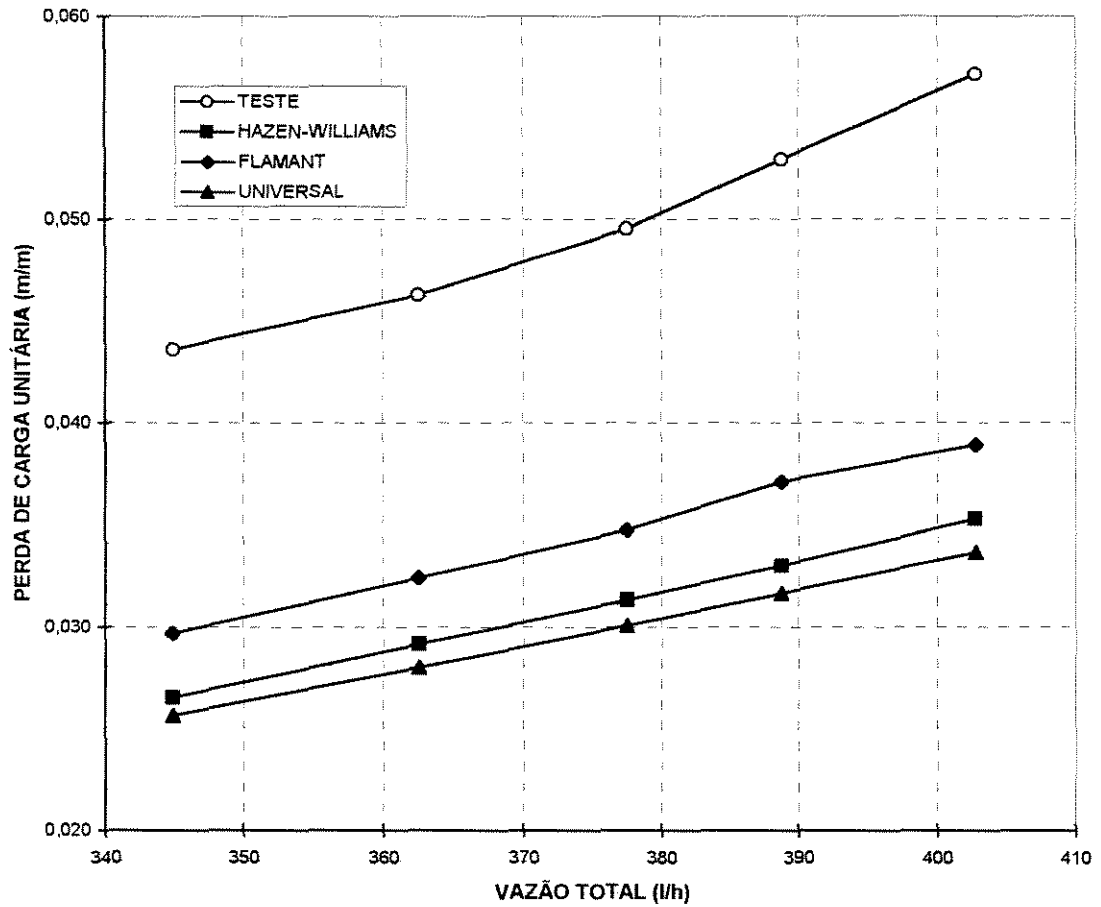


Figura 30 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_2 , para linha com gotejadores "in-line".

- Mudança de secção na entrada e saída do gotejador, provocando regiões de turbulência.

- Ocorrência de turbulência no interior do gotejador, devido as saídas de água,

Procurou-se então, determinar o comprimento equivalente para o gotejador em estudo.

Tal determinação foi feita em função da perda de carga total ocorrida na linha e o número total de gotejadores, obtendo-se como resultado, $le=1,01$, isto é, comprimento equivalente para o gotejador de um metro e um centímetro de tubulação.

Utilizando-se do comprimento equivalente determinado para o gotejador, a combinação das fórmulas Universal com os três coeficientes e de Hazem-Williams com o coeficiente de distribuição em marcha m_2 obtiveram os melhores resultados, com desvios da ordem de 1 %. Já a fórmula Flamant com os coeficiente de Christiansen e de distribuição em marcha m_1 mostraram-se totalmente inadequadas, com desvios acima de 15%, conforme mostrado nos quadros 39 a 46 e figuras 31 a 33.

Observou-se também, que a perda de carga total ao longo da linha com gotejadores "in-line" foi superior a 20 % da pressão de serviço do gotejador, condição essa não permitida, VIEIRA (1989). Conclui-se, portanto, que o comprimento da linha é muito grande para o diâmetro utilizado.

No caso da linha de irrigação pelo sistema "xique-xique", houve uma pequena variação nos desvios em relação aos obtidos na linha de micro-aspersão e na linha de gotejamento "on-line". Este fato deve-se provavelmente a grande variação de vazão ocorrida nos emissores, pois devido ao seu método construtivo não há condições de se ter um controle de qualidade, os resultados são mostrados nos quadros 47 a 54 e representados graficamente nas figuras 34 a 36.

Observou-se também que a vazão média dos emissores foi de 2 a 3 l/h, concluindo-se portanto, que o diâmetro do orifício, cerca de 0,5 mm é pequeno.

Quadro 39 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente F e com $le = 1,01$ m.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,044441	0,043604	1,92
13,03	362,58	3,63	0,048819	0,046285	5,47
14,03	377,52	3,78	0,052455	0,049548	5,87
15,01	388,79	3,89	0,055261	0,052931	4,40
16,10	402,77	4,03	0,059108	0,057125	3,47
Média					4,23

Quadro 40 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente $m1$ e com $le = 1,01$ m.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,042204	0,043604	6,21
13,03	362,58	3,63	0,046361	0,046285	0,16
14,03	377,52	3,78	0,049816	0,049548	0,54
15,01	388,79	3,89	0,052479	0,052931	0,85
16,10	402,77	4,03	0,056131	0,057125	1,74
Média					1,30

Quadro 41 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m_1 e com $le = 1,01$ m.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,044425	0,043604	1,88
13,03	362,58	3,63	0,048801	0,046285	5,44
14,03	377,52	3,78	0,052437	0,049548	5,83
15,01	388,79	3,89	0,055243	0,052931	4,37
16,10	402,77	4,03	0,059086	0,057125	3,43
Média					4,19

Quadro 42 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente F e $le = 1,01$ m.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,050401	0,043604	15,59
13,03	362,58	3,63	0,055012	0,046285	18,85
14,03	377,52	3,78	0,059040	0,049548	19,16
15,01	388,79	3,89	0,062157	0,052931	17,43
16,10	402,77	4,03	0,066123	0,057125	15,75
Média					17,36

Quadro 43 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m1 e $le = 1,01$ m.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,045553	0,043604	4,47
13,03	362,58	3,63	0,049721	0,046285	7,62
14,03	377,52	3,78	0,053359	0,049548	7,69
15,01	388,79	3,89	0,056180	0,052931	6,14
16,10	402,77	4,03	0,059763	0,057125	4,62
Média					6,07

Quadro 44 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m2 e $le = 1,01$ m.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,049693	0,043604	13,96
13,03	362,58	3,63	0,054242	0,046285	17,19
14,03	377,52	3,78	0,058212	0,049548	17,49
15,01	388,79	3,89	0,061287	0,052931	15,79
16,10	402,77	4,03	0,065196	0,057125	14,13
Média					15,71

Quadro 45 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente F e com $le = 1,01$ m.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,042980	0,043604	1,43
13,03	362,58	3,63	0,046913	0,046285	1,36
14,03	377,52	3,78	0,050346	0,049548	1,61
15,01	388,79	3,89	0,053006	0,052931	0,14
16,10	402,77	4,03	0,056387	0,057125	1,29
Média					1,17

Quadro 46 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha de gotejamento "in-line", utilizando-se a fórmula Universal com coeficientes m_1 e m_2 e com $le = 1,01$ m.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
12,06	344,89	3,45	0,042964	0,043604	1,47
13,03	362,58	3,63	0,046895	0,046285	1,32
14,03	377,52	3,78	0,050328	0,049548	1,58
15,01	388,79	3,89	0,052988	0,052931	0,11
16,10	402,77	4,03	0,056366	0,057125	1,33
Média					1,16

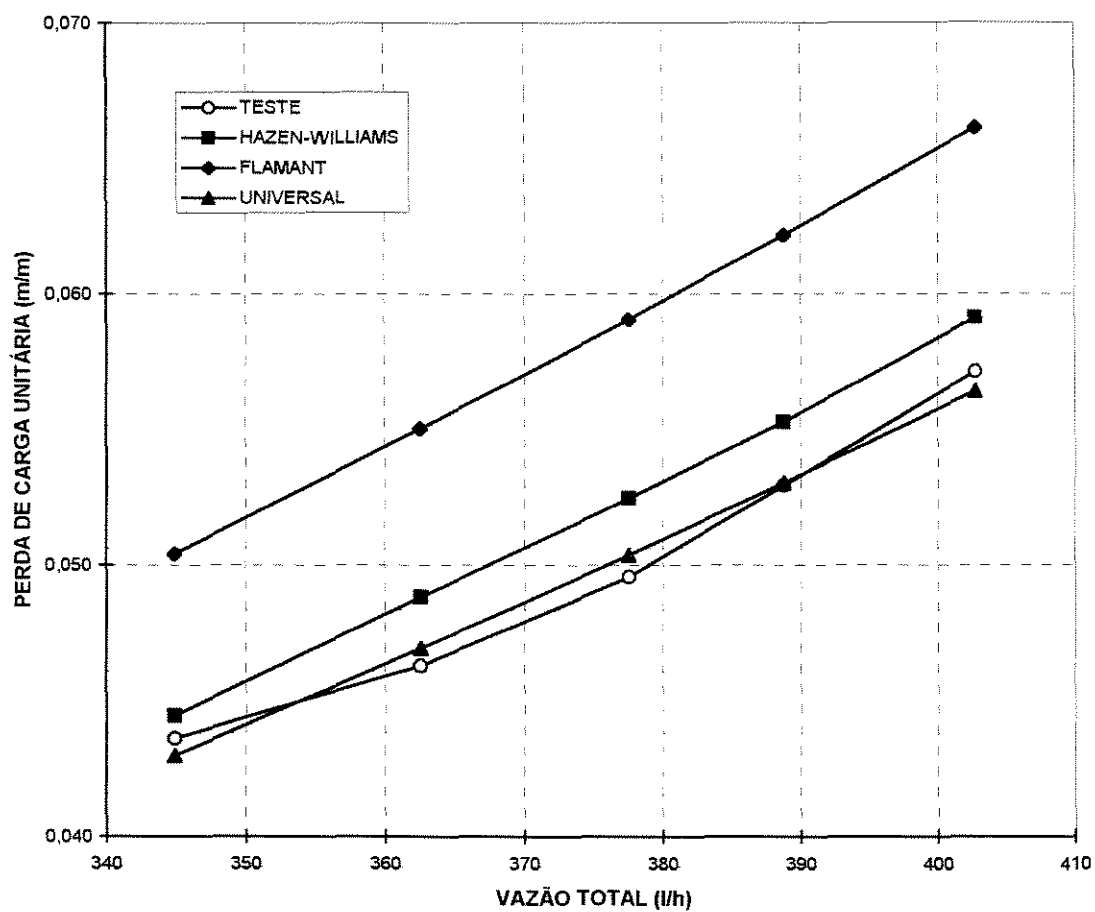


Figura 31 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente F e $l_e = 1,01$ m, para linha com gotejadores "in-line".

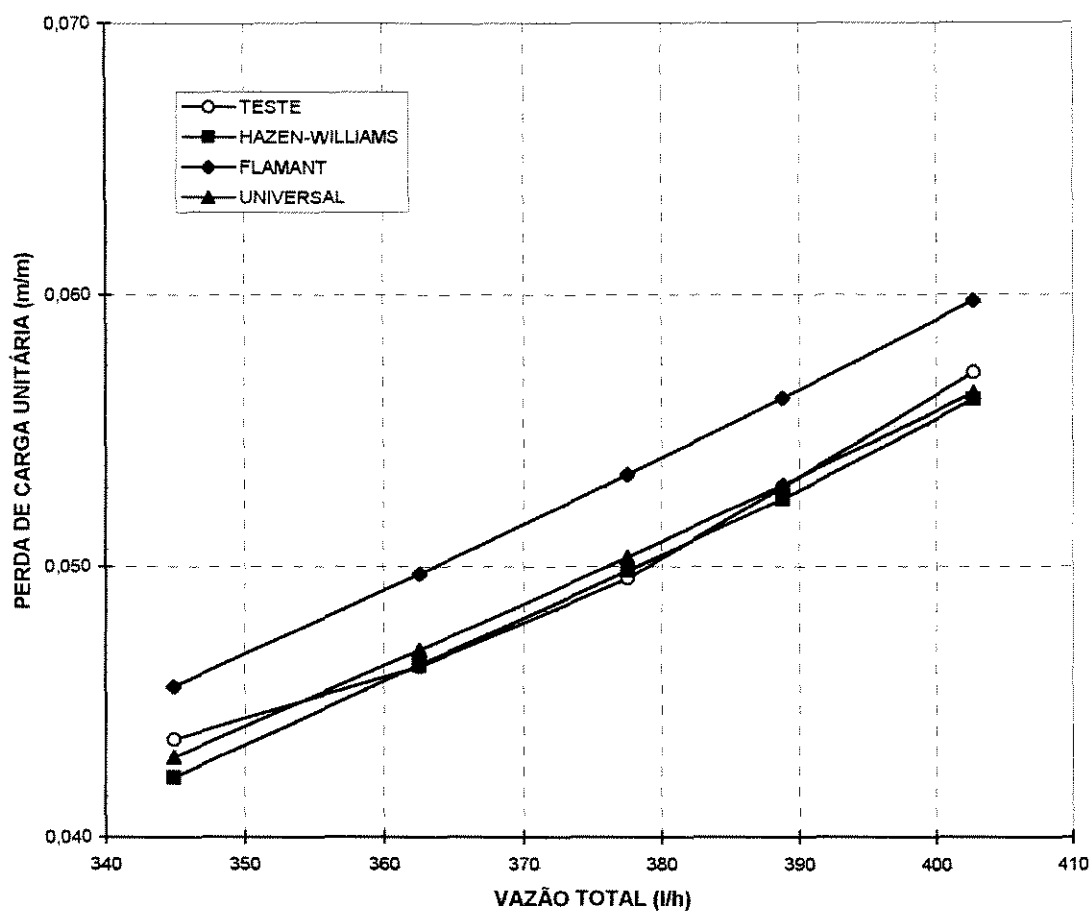


Figura 32 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente $m1$ e $le = 1,01$ m, para linha com gotejadores "in-line".

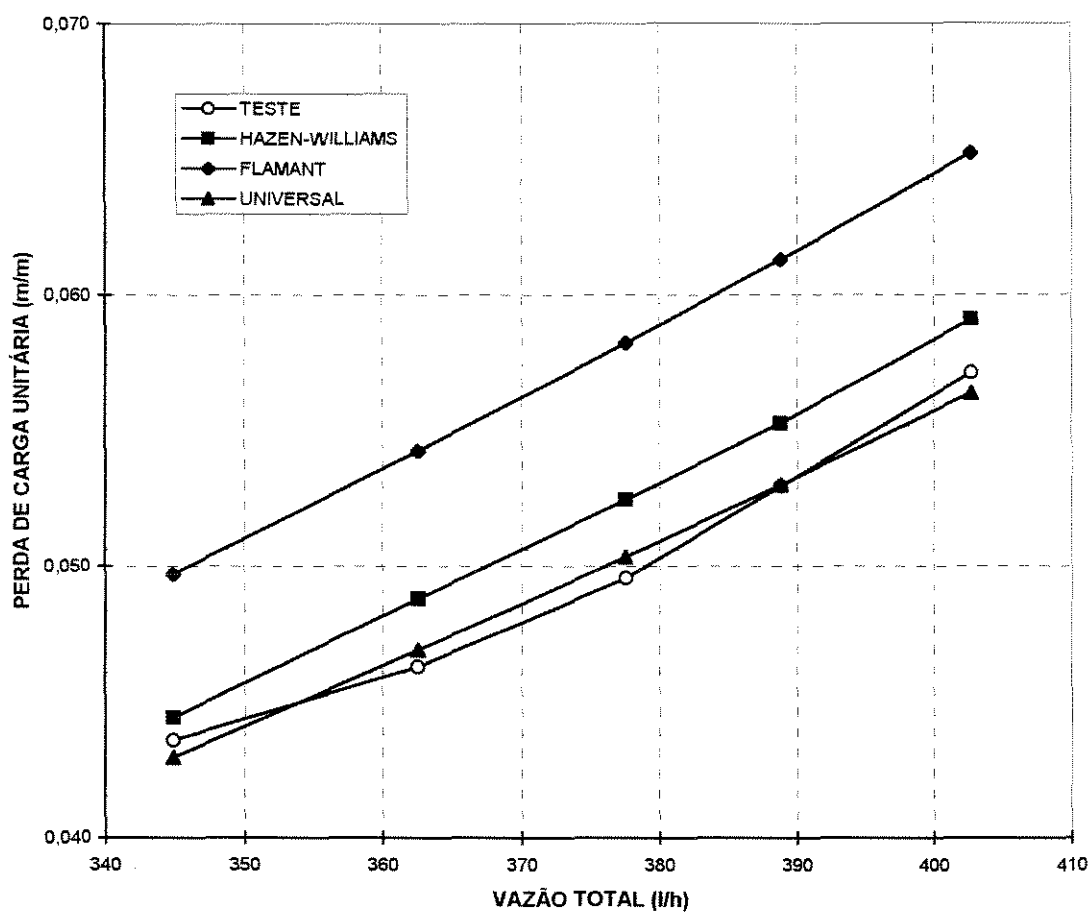


Figura 33 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_2 e $l_e = 1,01$ m, para linha com gotejadores "in-line".

Quadro 47 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha pelo sistema "xique-xique", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
19,00	207,36	2,07	0,003017	0,002882	4,68
10,07	251,18	2,51	0,004273	0,003940	8,45
11,10	258,04	2,58	0,001501	0,004092	10,00
12,04	300,27	3,00	0,005856	0,005120	14,37
13,07	320,19	3,20	0,006663	0,006828	2,42
Média					7,98

Quadro 48 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha pelo sistema "xique-xique", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m1.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,00	207,36	2,07	0,002975	0,002882	3,23
10,07	251,18	2,51	0,004213	0,003940	6,93
11,10	258,04	2,58	0,004438	0,004092	8,46
12,04	300,27	3,00	0,005773	0,005120	12,75
13,07	320,19	3,20	0,006569	0,006828	3,79
Média					7,03

Quadro 49 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha pelo sistema "xique-xique", utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,00	207,36	2,07	0,002826	0,002882	1,94
10,07	251,18	2,51	0,004002	0,003940	1,57
11,10	258,04	2,58	0,004216	0,004092	3,03
12,04	300,27	3,00	0,005485	0,005120	7,13
13,07	320,19	3,20	0,005241	0,006828	8,60
Média					4,45

Quadro 50 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha pelo sistema "xique-xique", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,00	207,36	2,07	0,003619	0,002882	25,57
10,07	251,18	2,51	0,005061	0,003940	28,45
11,10	258,04	2,58	0,005306	0,004092	29,67
12,04	300,27	3,00	0,006918	0,005120	35,12
13,07	320,19	3,20	0,007740	0,006828	13,36
Média					26,43

Quadro 51 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha pelo sistema "xique-xique", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m1.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,00	207,36	2,07	0,003570	0,002882	23,87
10,07	251,18	2,51	0,004993	0,003940	26,73
11,10	258,04	2,58	0,005234	0,004092	27,91
12,04	300,27	3,00	0,006823	0,005120	33,26
13,07	320,19	3,20	0,007635	0,006828	11,82
Média					24,72

Quadro 52 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha pelo sistema "xique-xique", utilizando-se a fórmula de Flamant com coeficiente m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,00	207,36	2,07	0,003272	0,002882	13,53
10,07	251,18	2,51	0,004577	0,003940	16,17
11,10	258,04	2,58	0,004798	0,004092	17,25
12,04	300,27	3,00	0,006255	0,005120	22,17
13,07	320,19	3,20	0,006999	0,006828	2,50
Média					14,33

Quadro 53 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha pelo sistema "xique-xique", utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente F.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,00	207,36	2,07	0,003133	0,002882	8,71
10,07	251,18	2,51	0,004381	0,003940	11,19
11,10	258,04	2,58	0,004593	0,004092	12,24
12,04	300,27	3,00	0,005988	0,005120	16,95
13,07	320,19	3,20	0,006700	0,006828	1,87
Média					10,19

Quadro 54 - Resultados obtidos no cálculo da perda de carga unitária para linha pelo sistema "xique-xique", utilizando-se a fórmula Universal com coeficiente m1 e m2.

Pi (mca)	Q (l/h)	qm (l/h)	j CALCULADO (m/m)	j TESTE (m/m)	DESVIO (%)
9,00	207,36	2,07	0,003086	0,002882	7,08
10,07	251,18	2,51	0,004316	0,003940	9,54
11,10	258,04	2,58	0,004525	0,004092	10,58
12,04	300,27	3,00	0,003899	0,005120	15,21
13,07	320,19	3,20	0,006601	0,006828	3,32
Média					9,15

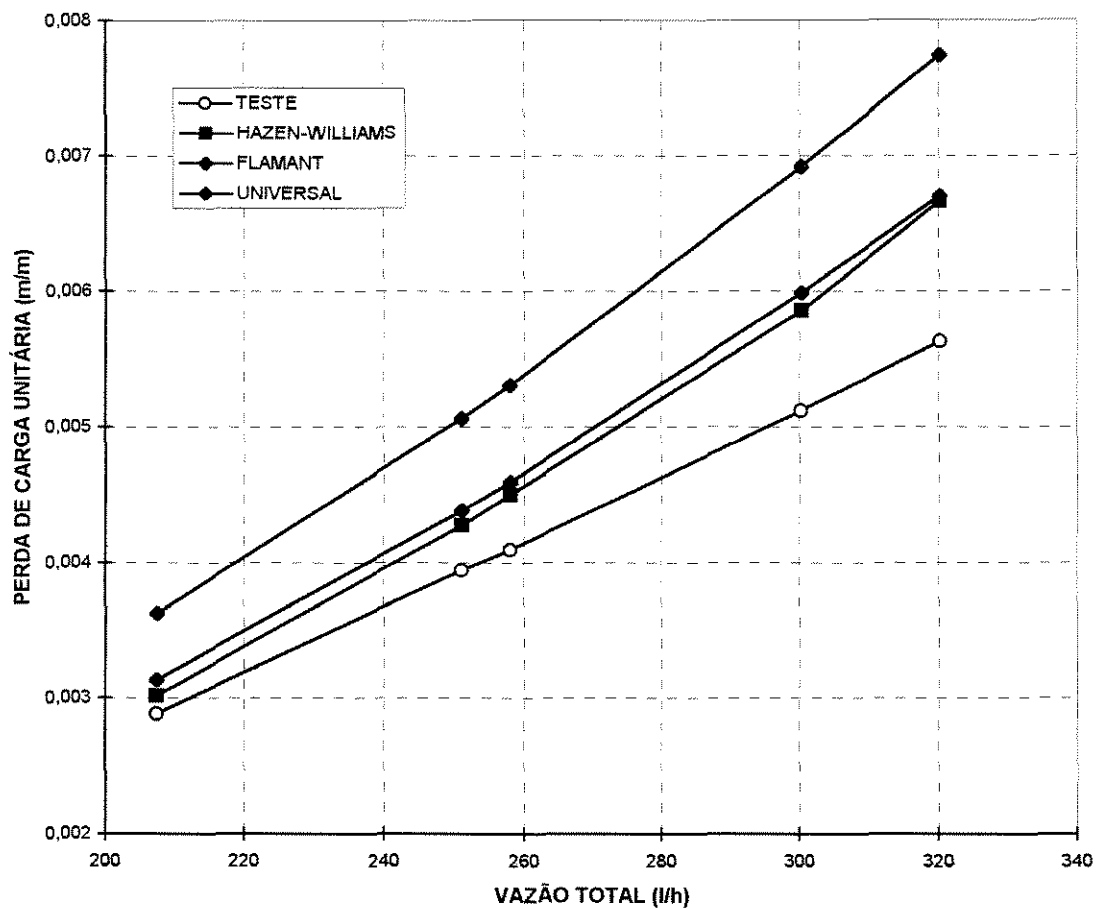


Figura 34 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente F, para linha "xique-xique".

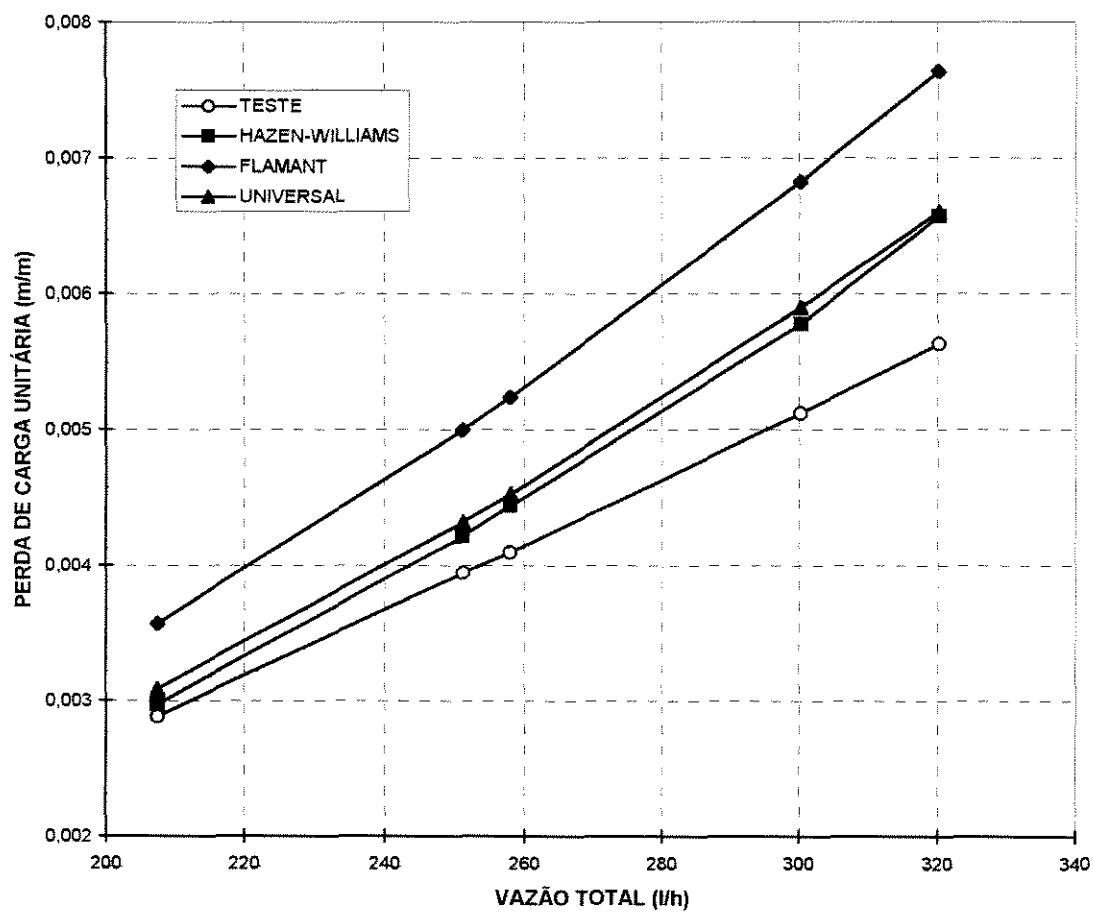


Figura 35 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_1 , para linha "xique-xique".

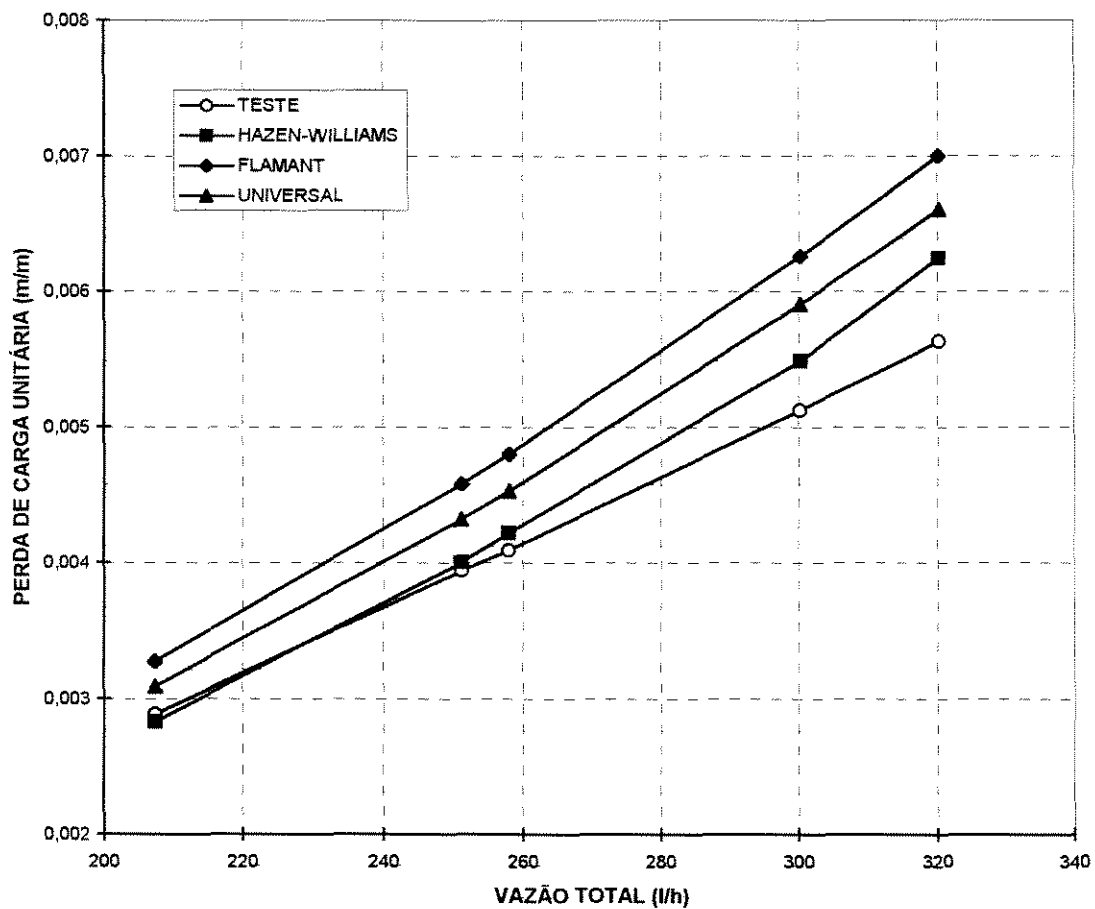


Figura 36 - Curva de perda de carga unitária versus vazão, calculada com coeficiente m_2 , para linha "xique-xique".

4.2 - Avaliação do Desempenho dos Micro-aspersores

A vazão dos micro-aspersores, ao longo da linha variou bastante para os dois emissores estudados, observou-se uma variação maior para o micro-aspersor MA-120, vide figuras 37 e 38. Para o micro-aspersor MA-70, verificou-se uma vazão média acima da especificada pelo fabricante (70 l/h), com desvio em torno de 4 %; entretanto considerando-se a vazão de um micro-aspersor isolado em relação a vazão nominal, o desvio observado foi da ordem de 12 %. Tais observações foram feitas para pressão no início da linha de 15,5 m.c.a., a qual é a pressão calculada para linha.

Para o micro-aspersor MA-120, a vazão média se manteve abaixo da vazão nominal (120 l/h), sendo o desvio em torno de 16 % em relação a vazão média e de 26 % em relação a vazão de um micro-aspersor isolado; para pressão no início da linha de 19,0 m.c.a..

Com base nos resultados obtidos, os dois tipos de micro-aspersores estudados obtiveram uma variação de vazão, entre dois gotejadores funcionando simultaneamente, maior que 10 %, situação não desejável segundo KARMELI & KELLER (1974), pois compromete a uniformidade de distribuição de água ao longo da linha. Nos teste com os dois modelos de micro-aspersores com pressão de serviço de 15,0 m.c.a., conforme especificado pelo fabricante, observou-se que para os micro-aspersores MA-70, apenas dois dos vinte testados apresentaram vazão de 70 l/h e o restante vazões acima, com desvios chegando a 14 %, vide figura 39. Já os micro-aspersores MA-120 nenhum apresentou a vazão especificada pelo fabricante de 120 l/h, ou seja , todos apresentaram vazões abaixo, com desvios chegando a 20 %, conforme mostra figura 40.

Para os dois modelos de micro-aspersores, foi calculado o coeficiente de variação, obtendo como resultado 0,039 e 0,051, para MA-70 e MA-120 respectivamente, classificando-se como bons conforme a ABNT, e observado por NOGUEIRA (1989) e BOTREL (1984).

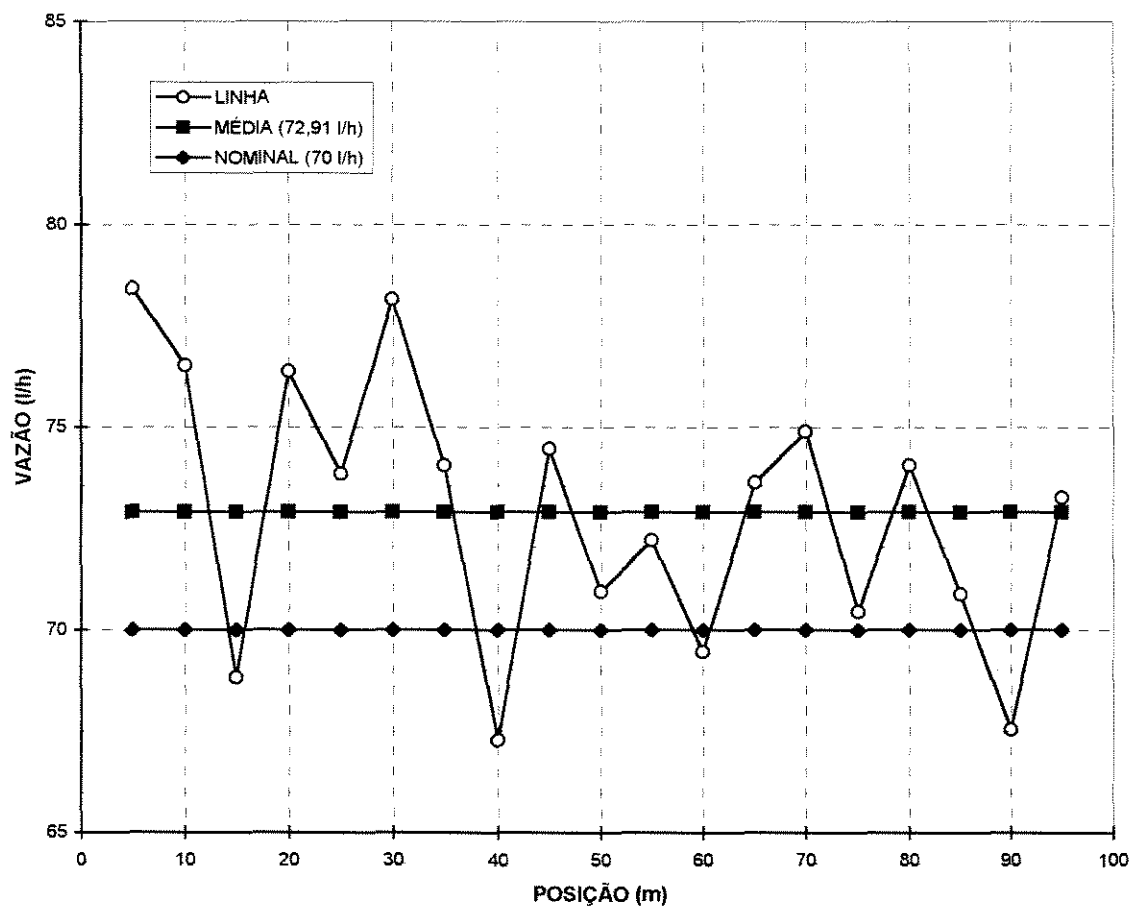


Figura 37 - Variação da vazão ao longo da linha com micro-aspersores MA-70, para $P_i = 15,5$ m.c.a..

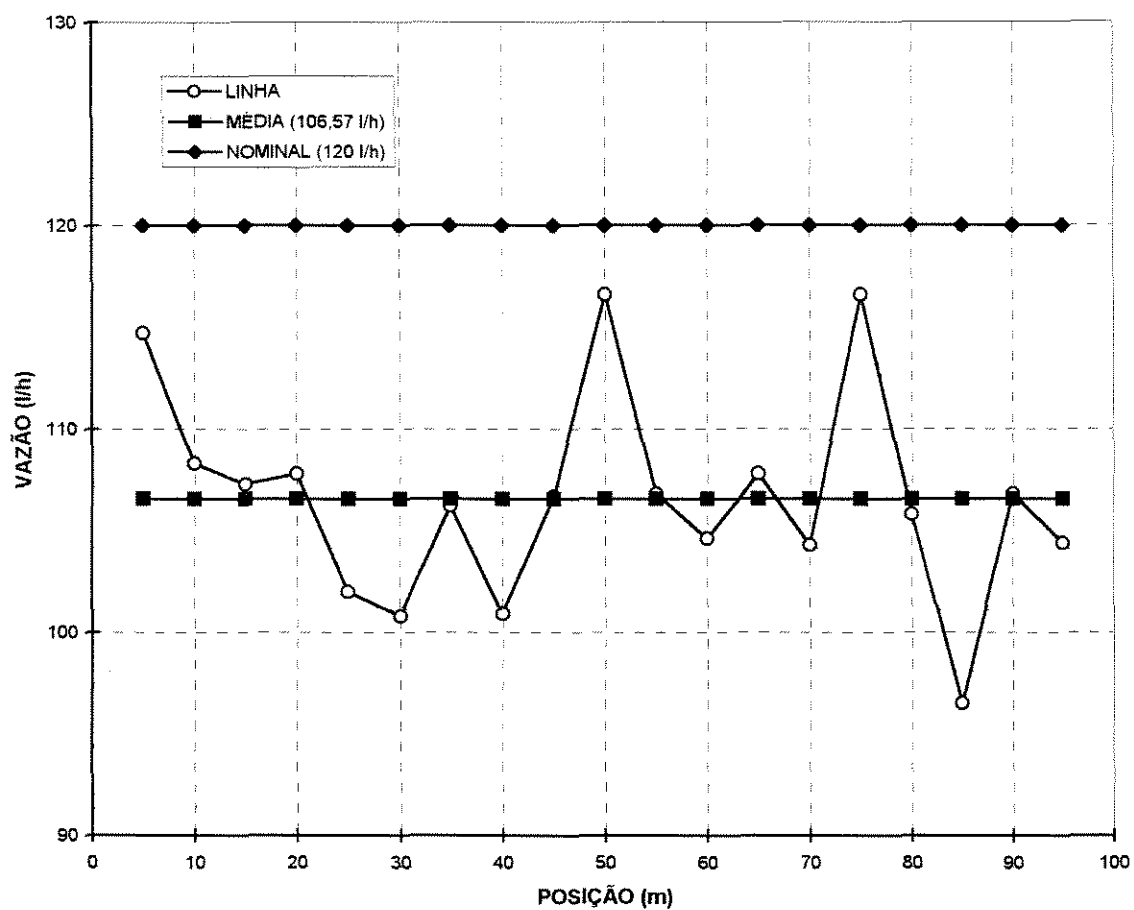


Figura 38 - Variação da vazão ao longo da linha com micro-aspersores MA-120, para $P_i = 19$ m.c.a..

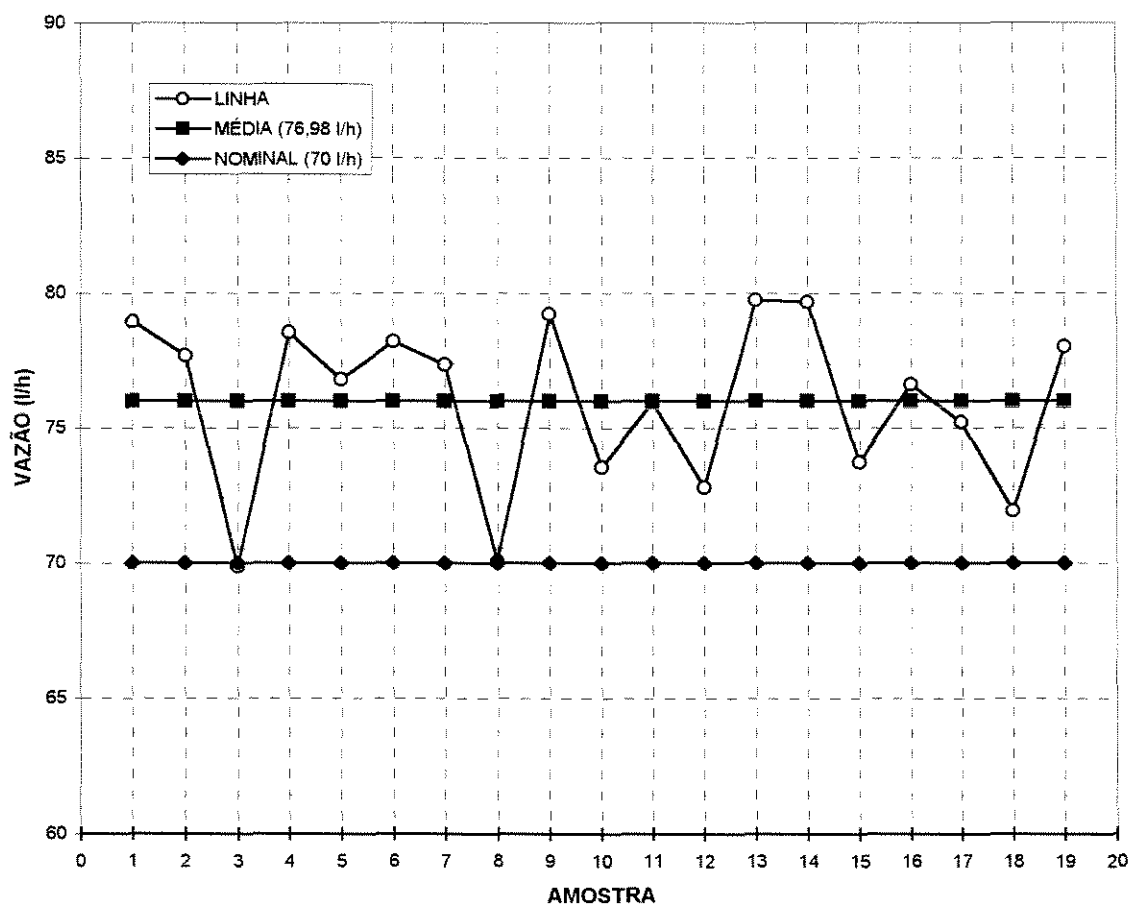


Figura 39 - Vazão nos micro-aspersores MA-70, para pressão de serviço de 15 m.c.a..

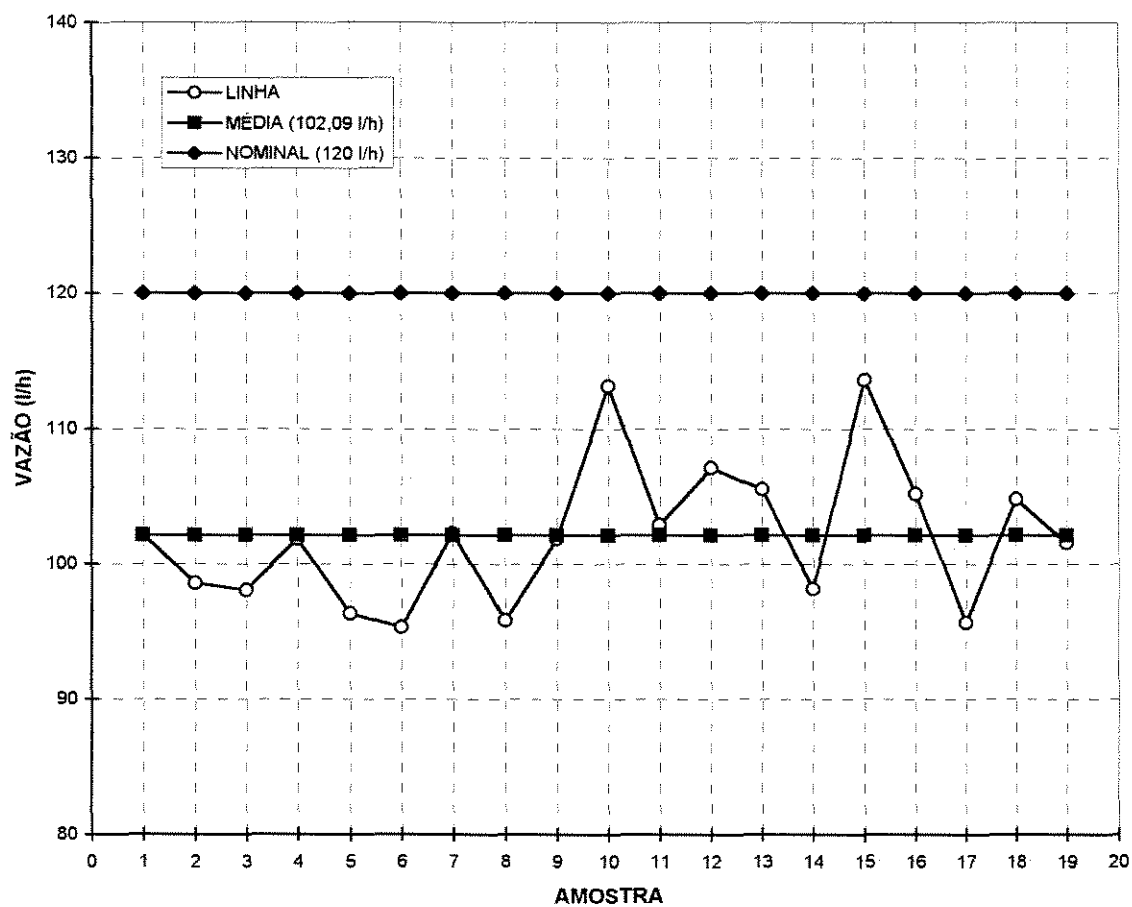


Figura 40 - Vazão nos micro-aspersores MA-120, para pressão de serviço de 15 m.c.a..

Com uma amostragem de cinco micro-aspersores de cada modelo, foram construídas curvas de vazão versus pressão, com o objetivo de se comparar com as curvas fornecidas em catálogo pelo fabricante, vide figuras 41 e 42.

Pela análise destas curvas observa-se, que os micro-aspersores que obtiveram a vazão nominal quando submetidos a pressão de 15 m.c.a., suas curvas são idênticas a fornecida pelo fabricante, já os demais obtiveram curvas totalmente diferentes, principalmente para os tipo MA-120.

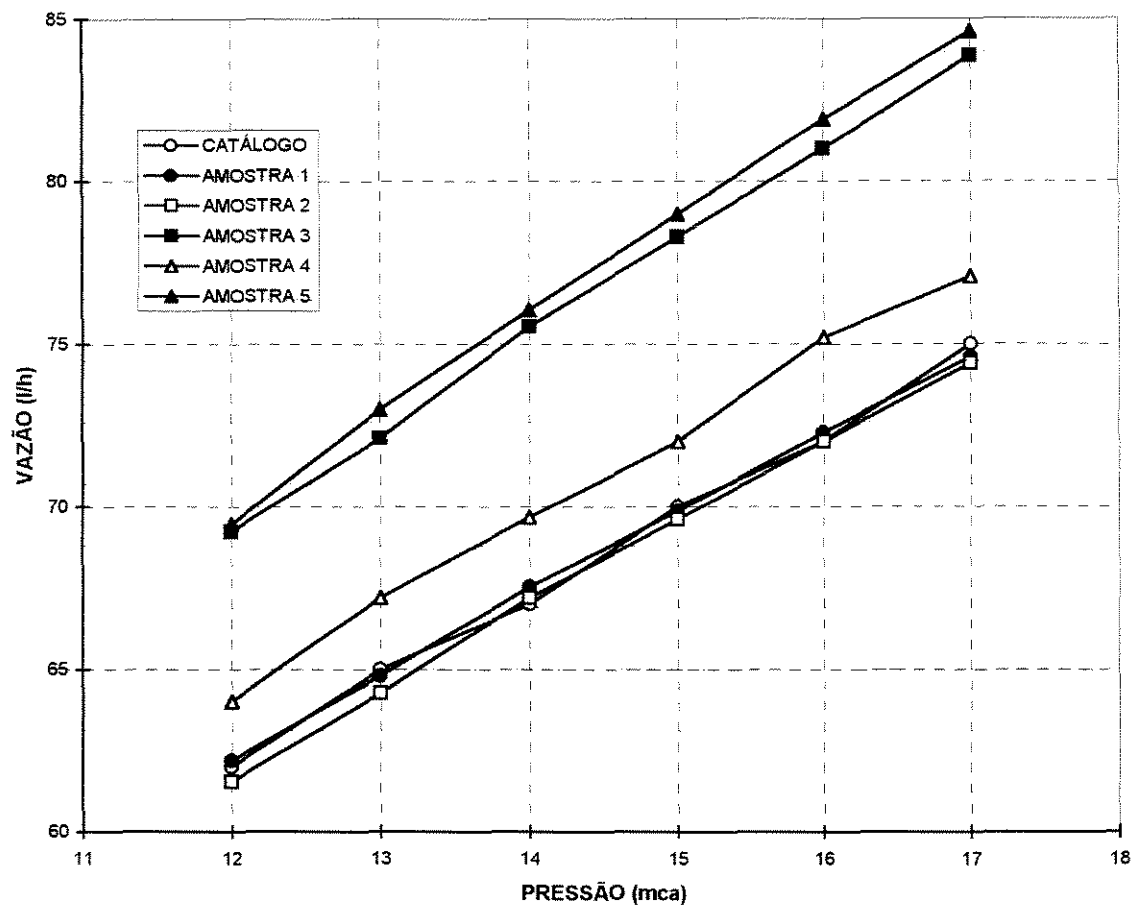


Figura 41 - Curva vazão versus pressão para micro-aspersores MA-70.

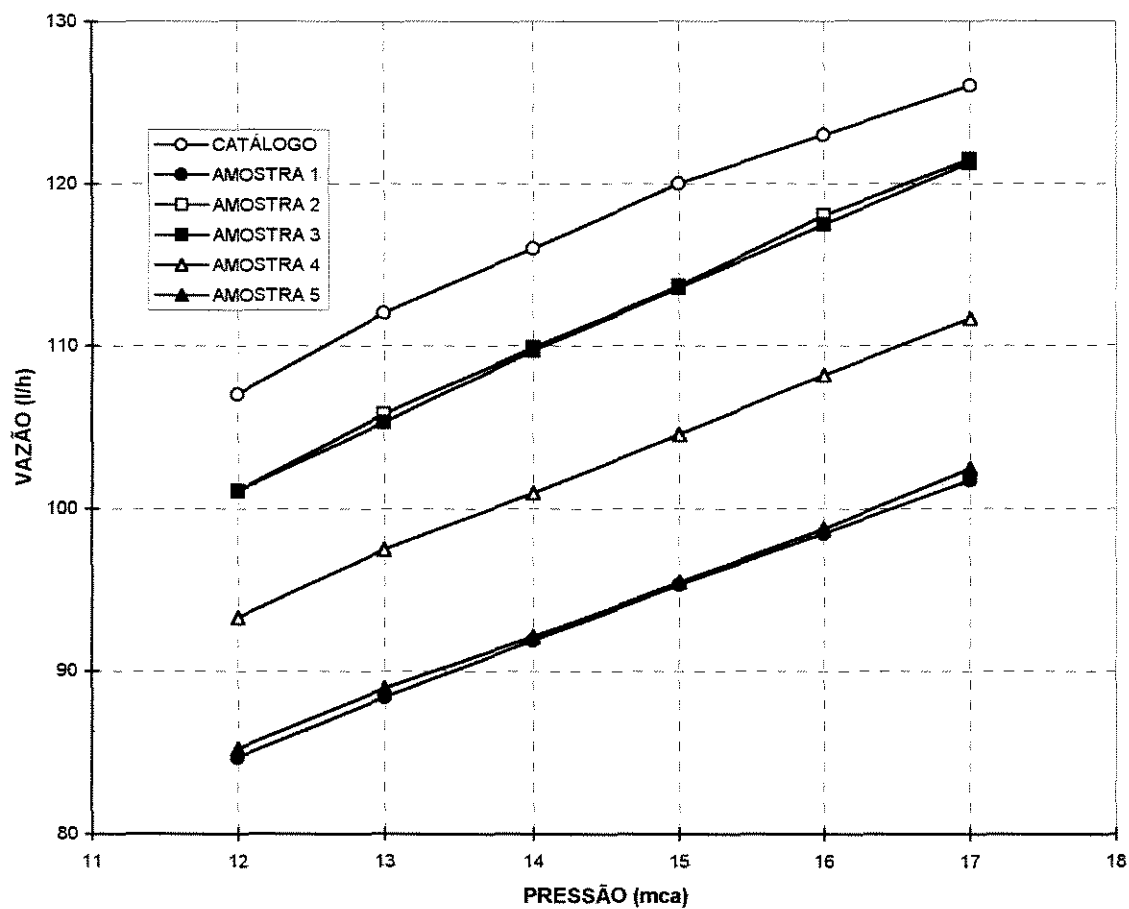


Figura 42 - Curva vazão versus pressão para micro-aspersores MA-120.

5. CONCLUSÕES

Com base na metodologia empregada e nos resultados obtidos no presente experimento, pode-se concluir que :

1 - Com relação a utilização das fórmulas para determinação da perda de carga continua em tubulação sem emissores inseridos, a fórmula Universal se mostrou mais apropriada.

2 - Para linha com emissores inseridos, algumas combinações de fórmulas associadas aos coeficientes de correção, se mostraram adequadas. Tentando-se generalizar o emprego das fórmulas no dimensionamento hidráulico de linhas laterais de irrigação localizada, verificou-se que a fórmula mais apropriada é a fórmula Universal associada ao coeficiente de distribuição em marcha.

No caso de linhas de irrigação por gotejamento com gotejadores “in-line”, o comprimento equivalente indicado por FERNÁNDEZ (1993), não é indicado para o gotejador estudado, sendo que para o comprimento equivalente determinado no presente trabalho ($le=1,01m$), verificou-se que a combinação da fórmula com coeficiente de correção acima descrita é a mais apropriada.

Os coeficiente C e b de Hazen-Williams e Flamant respectivamente, variaram com o número de Reynolds.

3 - Com relação aos micro-aspersores utilizados, embora classificados como bons, conforme a ABNT, verificou-se no entanto, que a variação da vazão ao longo da linha lateral foi muito grande, chegando a desvios de 12 e 26 % em relação a vazão nominal, para os micro-aspersores MA-70 e MA-120 respectivamente, portanto variação maior que 10 % entre dois micro-aspersores funcionando simultaneamente, condição não permitida segundo KARMELI & KELLER (1974). Também a curva de vazão versus pressão fornecida pelo fabricante comparada à obtida em campo mostrou-se divergente, pois apenas 5 % dos micro-aspersores testados apresentaram uma curva semelhante.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Requisitos mínimos para elaboração de projeto de irrigação localizada, PNBR 12, São Paulo, 1986, 8p.

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

AZEVEDO NETTO, J.M. & ALVARES, G.A. *Manual de hidráulica*. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. 1973. 668p. (vol. 1 e 2).

BOTREL, T.A., Hidráulica de micro-aspersores e de linhas laterais de irrigação localizada. Piracicaba. 1984. 78p. (Mestrado Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz" USP).

DESHMUKH, M.T. Evaluation of hydraulics of flow through pipes of varying slopes, lengths and orifice placements, In: PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, Riverside, 1974. p.317-321.

DUN, J.S., Trials with trickle irrigation. Extension Bulletin of the New Zealand Agricultural Engineering Institute Lincoln College, University of Canterbury, New Zealand. 1970, 16p.

FERNÁNDEZ, J.B., Dimensionamiento de la red de tuberías de riego por goteo en parcela. SEMINÁRIO SOBRE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO. Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, Campinas, SP, 1993, p27-38.

FORBES, I.G., Development in growing glass house tomatoes., New Zealand Journal of Agriculture. New Zealand. 1960, p.459 a 469.

GILLAD, Y.; L. Krystal e K. Zanker, Hydraulic and mechanical properties of drippers. in : Second International Drip Irrigation Congress, San Diego, 1974. p.311-316.

GONÇALVES, A.C.R.; DENÍCULI, W.; SOARES, A.A. & THIÉBAUT J.T.L., Análise da perda de carga em tubos perfurados para irrigação, pela comparação entre o conceito de vazão fictícia e a metodologia proposta por Christiansen. in : CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7. Brasília. 1986. *Anais*. ABID. Vol. 2. p.407-429.

KAMERLI D. e KELLER J., Evaluation of a trickle irrigation system, in: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2, San Diego. 1974, p.287-292.

MACINTYRE, A.J., *Bombas e estações elevatórias*, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois. 1980. 667p.

NEVES, E.T., *Curso de Hidráulica*, Porto Alegre, Editora Globo. 1968. 577p.

NOGUEIRA, A.M. Características hidráulicas da distribuição de água por micro-aspersores. Piracicaba. 1989. 59p. (Mestrado Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP).

OLITTA, A.F.L. *Os métodos de irrigação*. São Paulo, Nobel Editora. 1978. 267p.

OLIVEIRA, C.A.S. Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais para irrigação por gotejamento. Viçosa. 1978. 172p. (Mestrado Universidade Federal de Viçosa).

PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO, São Paulo, *Elaboração de projetos de irrigação*. Curso, 1986. 490p.

SPIELGEL, M.R. *Estatística*. São Paulo, Editora McGraw Hill. 1977. 580p.

TELLES, D.d'A., Irrigação por gotejamento : subsídios para sua utilização, Boletim Técnico DAEE, São Paulo, 1982, vol.5, p.1127.

VIEIRA, D.B., Estudo de irrigação por gotejamento em beringela (*Solanum melongena*, L.), Limeira, 1973, 80p. (Doutorado Faculdade de Engenharia de Limeira - UNICAMP).

VIEIRA, D.B. & TRINDADE, V., Avaliação hidráulica em linhas de gotejamento. in : CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7, Brasília. 1986. Anais. ABID. Vol 12. p.431-455.

VIEIRA, D.B., *As técnicas de irrigação*. São Paulo, Editora Globo. 1989.

