

## **DIMENSIONAMENTO DE LINHAS LATERAIS PARA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO\***

Carlos Alberto da Silva Oliveira  
Salassier Bernardo  
Manoel Vieira  
Paulo Afonso Ferreira\*\*

### **1. INTRODUÇÃO**

O método de irrigação por gotejamento apresentou grande desenvolvimento, neste decênio, em diversas partes do mundo. No Brasil, essa modalidade de irrigação foi introduzida, efetivamente, a partir de 1975.

A distribuição de pressão numa linha lateral ou linha de gotejadores é influenciada pelo ganho ou pela perda de energia potencial de posição, decorrentes das mudanças de altitude do terreno na direção da linha, e pela perda de energia da água, por atrito ao longo do tubo e nas inserções dos gotejadores.

Com a ocorrência de regimes de fluxo laminar instável e turbulento numa linha lateral, a determinação da perda de carga linear implica maiores considerações. Várias equações que permitem efetuar esse cálculo acham-se em disponibilidade na literatura especializada. Entretanto, as equações de Hazen-Williams e Darcy-Weisbach vêm sendo aplicadas com maior frequência.

A equação de Hazen-Williams é utilizada com maior segurança a partir de números de Reynolds maiores que 4.000. Alguns autores (2, 4) estendem sua aplicação às linhas laterais a partir de número de Reynolds igual a 2.000. Tal consideração pode ser feita sem que ocorra erro considerável, porque o trecho onde se verifica o regime instável é relativamente pequeno.

---

\* Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, como parte das exigências para obtenção do grau de «Magister Scientiae» em Engenharia Agrícola.

Recebido para publicação em 27-09-1978. Projeto 4.1518 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

\*\* Respectivamente, Pesquisador da EMBRAPA, Professor Titular, Professor Assistente e Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa.

Diferentes valores do coeficiente de rugosidade (C) da equação de Hazen-Williams são apresentados para tubo de polietileno liso. HOWELL e HILLER (3) encontraram, pela análise de regressão, C igual a 130 para tubo de 1/2" (diâmetro interno de 15,8 mm) e C igual a 128 para tubo Drip-eze DH 580 (diâmetro interno de 14,7 mm). HANSON (2) determinou valores de C para tubo e para diferentes tipos de gotejadores espaçados de 1,5 m. Tais valores variaram entre 98 e 136, e apresentam o inconveniente de necessitarem de uma nova determinação desse coeficiente para cada espaçamento e tipo de gotejador diferentes dos estudados. KARMEI e KELLER (4) apresentam gráficos de perda de carga calculada com C igual a 150. Os compêndios de hidráulica, em geral, dão valor 140 para C, em consonância com os autores da equação. TOURASSE (6), trabalhando com tubos lisos, encontrou que o valor de C a ser considerado é variável segundo a vazão e o diâmetro do tubo.

A equação de Darcy-Weisbach 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, é obtido por  $f = 64/Re$ . Quando o regime é turbulento, os valores de  $f$  podem ser obtidos com boa aproximação, até número de Reynolds ( $Re$ ) igual a 100.000, usando-se a expressão atribuída a Blasius, em que  $f = 0,3164/Re^{0,25}$ .

Um dos recursos para estimar a perda de energia que realmente ocorre na linha lateral é computar a variação de pressão entre cada duas saídas adjacentes, adicionando-a à que ocorre no ponto de inserção do gotejador. Tal cálculo é feito partindo-se do final para o início da linha lateral, e requer muito trabalho, por causa do número relativamente grande de gotejadores e da variação de vazão depois de cada gotejador. Diante disso, surge a necessidade de métodos mais simples, mas que garantam bom desempenho hidráulico das linhas laterais.

Este trabalho teve como objetivo estudar a perda de carga na linha lateral, estabelecendo valores do coeficiente de redução de perda de carga  $F$  (Christiansen).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi estudada, no Laboratório de Hidráulica da U.F.V., a perda de carga em linhas laterais de irrigação com gotejadores Dangotas, Irriga e Microtubo.

Na determinação da perda de carga no tubo de polietileno, com e sem gotejadores, utilizaram-se três linhas de teste, denominadas linhas I, II e III, respectivamente, para os gotejadores Irriga, Dangotas e Microtubo (diâmetro interno = 1,26 mm e comprimento = 83 cm). Cada linha de teste, constituída de 30 metros de tubo, foi retirada de um rolo de tubo com 100 metros de extensão. Utilizou-se um espaçamento, entre gotejadores, de 1,0 metro.

A montante de cada linha de teste, a 7,5 metros do seu início, foram instalados um registro de gaveta e um hidrômetro. A jusante, a 7,5 metros do seu final, instalou-se um registro de gaveta, por meio do qual foram reguladas as vazões nele introduzidas. No início e no final das linhas de teste foi feito um orifício, com 3,8 mm de diâmetro, de modo que fosse possível a tomada de pressão. Externamente a esse orifício, ajustou-se uma luva, com uma saída de metal para os manômetros. A perda de carga nas linhas de teste foi medida utilizando-se de um manômetro diferencial inclinado, com um ângulo de 30° em relação à horizontal. A pressão no início das linhas de teste foi medida empregando-se um manômetro. Num e outro manômetro utilizou-se o mercúrio como líquido manométrico.

Os gotejadores Irriga foram instalados na linha de teste (linha I), sobre tubo «CIPLA» de 9,5 mm (3/8"), de diâmetro nominal, com 1,5 mm de espessura da parede e com diâmetro interno real de 12,7 mm. Para os gotejadores Dangotas e

Microtubo, utilizaram-se linhas de teste (linhas II e III) com tubos da mesma procedência, tipo «popular», com 12,7 mm (1/2") de diâmetro nominal e diâmetros internos reais de 14,4 e 14,8 mm, respectivamente.

Para vazões que apresentavam número de Reynolds entre 4.000 e 25.000 em cada linha de teste, foi estudada, inicialmente, a perda de carga no tubo.

As vazões foram determinadas empregando-se um recipiente com volume de 7,50 litros e um cronômetro com precisão de décimos de segundo. Estando fechado o registro localizado a jusante das linhas I, II e III, observou-se uma carga hidrostática de 10,48 m.c.a..

Em todos os cálculos foi utilizado o diâmetro real, determinado medindo-se o peso da água destilada contida no interior de 10 seções de tubo com aproximadamente 10 cm de comprimento e relacionando-o com a densidade desse líquido à temperatura ambiente.

Utilizando os dados de vazão versus perda de carga, medidos nas linhas de teste com tubo e sem gotejadores por meio da análise de regressão, foi estabelecida uma equação geral da forma

$$H_f = X_b Q^{X_a} \quad \dots \text{eq. (1)}$$

em que  $H_f$  = perda de carga no tubo, m.c.a.;  $Q$  = vazão,  $m^3/s$ ;  $X_a$  = constante que depende do regime de fluxo;  $X_b$  = constante que depende do tubo estudado.

Com a finalidade de encontrar o coeficiente de rugosidade ( $C$ ) da fórmula de Hazen-Williams, para o material estudado, utilizou-se a expressão

$$C = \left( \frac{Q^{1,852}}{H_{ft}} \right)^{0,54} 319,29 D^{-4,87} \quad \dots \text{eq. (2)}$$

sendo  $C$  = coeficiente de rugosidade, adimensional;  $D$  = diâmetro interno do tubo, metros;  $H_{ft}$  = perda de carga na linha de teste sem gotejadores, m.c.a.;  $Q$  = vazão,  $m^3/s$ .

A equação de Darcy-Weisbach foi também analisada, procurando-se chegar a uma expressão que relacionasse o fator de atrito ( $f$ ) com o número de Reynolds ( $Re$ ), de forma semelhante à proposta por Blasius, na qual

$$f = 0,3164 Re^{-0,25} \quad \dots \text{eq. (3)}$$

Elaborou-se um programa de computador (Figura 1) para efetuar o cálculo de linhas laterais de irrigação e determinar valores de  $F$  (Christiansen), em função do número de saídas e do espaçamento entre gotejadores. Nesse programa, utilizaram-se as equações que dão o coeficiente de perda de carga localizada no gotejador e as equações características de descarga-pressão de cada gotejador, determinadas por OLIVEIRA (5).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando tubos de polietileno com diâmetros internos reais de 12,7, 14,4 e

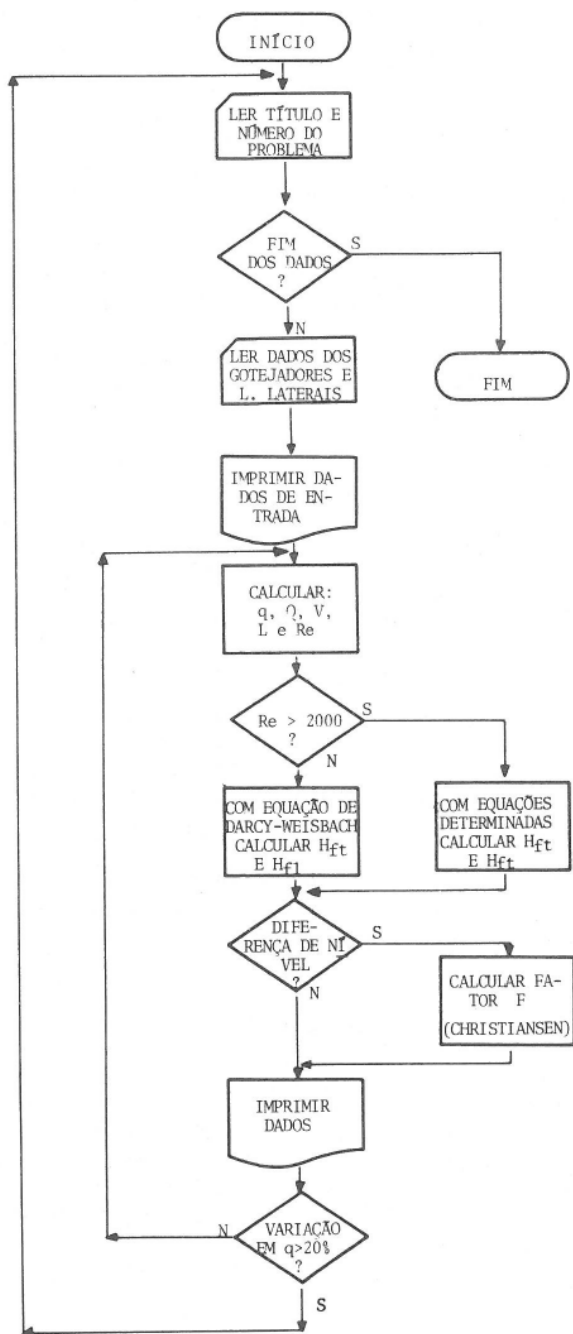


FIGURA 1 - Fluxograma para calcular o fator F.

14,8 mm, nas linhas I, II e III, respectivamente, foram obtidas as seguintes equações, que permitem calcular a perda de carga ( $H_{ft}$ ) nos tubos estudados, para diversos valores de vazão ( $Q$ ) e de comprimento ( $L$ ):

$$H_{ft} = 3,170 \cdot 10^7 Q^{1,791} L/30 \quad \dots \text{eq. (4)}$$

$$H_{ft} = 1,004 \cdot 10^7 Q^{1,731} L/30 \quad \dots \text{eq. (5)}$$

$$H_{ft} = 8,862 \cdot 10^7 Q^{1,734} L/30 \quad \dots \text{eq. (6)}$$

sendo  $H_{ft}$  em m.c.a.;  $Q$  em  $m^3/s$  e  $L$  em m.

Essas três equações foram ajustadas com  $r^2$  iguais a 0,9997, 0,9998 e 0,9999, respectivamente, e testes de F significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Um valor médio para os expoentes de  $Q$  nas equações 4, 5 e 6 seria, aproximadamente, 1,75. Tal consideração permite caracterizar o regime de fluxo estudado como passando do regime de transição para o regime turbulento de parede intermediária ou turbulento de transição, de acordo com FEGHALI (1).

Encontrou-se a seguinte expressão, que fornece o fator de atrito ( $f$ ) em função do número de Reynolds ( $Re$ ), válida para os três diâmetros de tubo estudados:

$$f = 0,2978 Re^{-0,2493} \quad (r^2 = 0,9670) \quad \dots \text{eq. (7)}$$

Essa equação se aproximou bastante da que foi estabelecida por Blasius, na qual  $f = 0,3164 \times Re^{-0,25}$ .

Utilizando-se a equação 2, obtiveram-se valores de  $C$  a contar dos dados de perda de carga no tubo. Tais valores encontram-se no Quadro 1.

QUADRO 1 - Valores do coeficiente de rugosidade ( $C$ ) da equação de Hazen-Williams, obtidos nas linhas I, II e III, empregando-se a equação 2

Linha I (D=12,7mm)		Linha II (D=14,4mm)		Linha III (D=14,8mm)	
$Q (m^3/s)$	$C$	$Q (m^3/s)$	$C$	$Q (m^3/s)$	$C$
$4,66 \cdot 10^{-5}$	142	$4,62 \cdot 10^{-5}$	134	$5,20 \cdot 10^{-5}$	139
$6,56 \cdot 10^{-5}$	142	$5,87 \cdot 10^{-5}$	137	$6,60 \cdot 10^{-5}$	140
$7,76 \cdot 10^{-5}$	141	$7,61 \cdot 10^{-5}$	141	$8,96 \cdot 10^{-5}$	142
$9,60 \cdot 10^{-5}$	143	$9,38 \cdot 10^{-5}$	141	$1,04 \cdot 10^{-4}$	143
$1,11 \cdot 10^{-4}$	143	$1,09 \cdot 10^{-4}$	143	$1,14 \cdot 10^{-4}$	144
$1,25 \cdot 10^{-4}$	144	$1,22 \cdot 10^{-4}$	145	$1,29 \cdot 10^{-4}$	145
$1,41 \cdot 10^{-4}$	146	$1,38 \cdot 10^{-4}$	146	$1,45 \cdot 10^{-4}$	147
$1,58 \cdot 10^{-4}$	148	$1,58 \cdot 10^{-4}$	147	$1,66 \cdot 10^{-4}$	148
$1,70 \cdot 10^{-4}$	146	$1,84 \cdot 10^{-4}$	146	$2,03 \cdot 10^{-4}$	151
-	-	$2,23 \cdot 10^{-4}$	149	$2,38 \cdot 10^{-4}$	152
$\bar{C}=144$		$\bar{C}=143$		$\bar{C}=145$	

No Quadro 1 observa-se que o coeficiente de rugosidade (C) variou conforme a vazão e o diâmetro do tubo. Resultados idênticos foram obtidos por TOURASSE (6), trabalhando com tubos lisos. Uma vez que as equações 4, 5 e 6 apresentam o expoente de Q em torno de 1,75 e que na equação 2 esse expoente é 1,852, o comportamento de C observado é esperado, quando se substitui o valor de  $H_{ft}$  da equação 2 pelos valores de  $H_{ft}$  obtidos com as equações 4, 5 e 6. Entretanto, para fins práticos de dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejamento, pode ser considerado um valor de C, médio, igual a 144 para os três diâmetros de tubo estudado.

Os dados observados e estimados de pressões no início da linha lateral e de perdas de carga nas linhas laterais I, II e III encontram-se no Quadro 2.

QUADRO 2 - Valores observados e estimados de perda de carga na linha lateral ( $H_{f1}$ ) e de pressão no início da linha lateral ( $H_i$ ), obtidos nas linhas laterais I, II e III, em m.c.a., para uma temperatura da água igual a 25°C

	Linha Lateral I		Linha Lateral II		Linha Lateral III	
	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Observado	Estimado
$H_{f1}$	0,74	0,78	0,13	0,12	0,30	0,31
$H_i$	9,51	9,55	10,37	10,36	7,74	7,75

Os dados de vazão, observados e estimados, nas linhas laterais I, II e III encontram-se no Quadro 3.

Uma vez que os valores observados e estimados de perda de carga e de vazões médias (Quadros 2 e 3), encontrados nas três linhas laterais, foram aproximadamente iguais, as equações propostas para seu dimensionamento podem ser usadas satisfatoriamente.

Os valores do coeficiente de redução F (Christiansen) encontrados estão nos Quadros 4, 5 e 6. Nesse cálculo, para os gotejadores Dangotas e Irriga, considerou-se uma pressão de  $H_0 = 10$  m.c.a. no final da linha e, para o Microtubo de 83 cm de comprimento,  $H_0 = 5$  m.c.a. Esse cálculo foi feito enquanto não houve uma variação maior que 20% na vazão do gotejador.

Para os três tipos de gotejadores estudados, com o aumento do número de saídas na linha lateral, e enquanto o regime de fluxo foi laminar, os valores de F decresceram a contar da unidade (Quadros 4, 5 e 6). Entretanto, para valores de Reynolds maiores que 2 000, e à medida que aumentou o número de saídas na linha lateral, os valores de F cresceram inicialmente, para depois decrescerem.



QUADRO 3 - Vazões (l/hora) observadas e estimadas dos gotejadores Irriga, Dangotas e Microtubo, a uma temperatura da água de 25°C e sob pressões de 8,77, 10,24 e 7,44 m.c.a. no final das linhas I, II e III, respectivamente

Nº Gotejador	L. Lateral I		L. Lateral II		L. Lateral III	
	Observada	Estimada	Observada	Estimada	Observada	Estimada
1	13,59	11,16	4,32	4,41	10,28	10,74
2	10,52	11,10	4,46	4,41	10,54	10,72
3	13,19	11,05	4,49	4,41	10,34	10,69
4	9,92	11,00	4,82	4,41	10,20	10,67
5	9,42	10,95	4,84	4,40	10,52	10,65
6	11,26	10,91	4,54	4,40	10,52	10,63
7	9,95	10,87	4,35	4,40	10,28	10,61
8	11,33	10,83	4,26	4,40	10,24	10,59
9	11,90	10,79	4,36	4,40	10,32	10,58
10	9,44	10,76	4,32	4,39	10,52	10,56
11	10,48	10,73	4,50	4,39	10,36	10,55
12	12,81	10,70	4,35	4,39	10,42	10,53
13	12,31	10,67	5,27	4,39	10,26	10,52
14	9,19	10,66	4,18	4,39	10,32	10,51
15	8,80	10,64	4,61	4,39	10,48	10,50
16	9,45	10,62	4,33	4,39	10,04	10,49
17	9,45	10,60	4,26	4,39	9,92	10,49
18	13,03	10,59	4,48	4,39	10,36	10,48
19	9,93	10,58	4,14	4,39	10,34	10,47
20	10,86	10,57	4,22	4,39	10,34	10,47
21	12,77	10,56	4,34	4,39	10,30	10,46
22	11,40	10,55	4,30	4,39	10,22	10,46
23	9,62	10,55	4,15	4,39	10,20	10,46
24	11,79	10,54	4,33	4,39	10,02	10,46
25	11,58	10,54	4,41	4,39	10,16	10,45
26	9,57	10,54	4,18	4,39	10,30	10,45
27	9,95	10,54	4,60	4,39	10,24	10,45
28	10,89	10,54	4,80	4,39	10,40	10,45
29	11,09	10,53	4,15	4,39	10,24	10,45
30	10,04	10,53	4,29	4,39	10,44	10,45
Média	10,85	10,71	4,42	4,39	10,30	10,53
Desvio-Padrão	1,35	0,19	0,15	0,07	0,15	0,09
C. Variação (%)	12,45	1,79	5,67	0,17	1,44	0,86

Tal fato foi mais acentuado em linhas laterais que empregavam gotejadores Dangotas com menores espaçamentos entre si. Provavelmente, isto ocorreu em razão da maior perda de carga deste gotejador na linha lateral, em relação aos gotejadores Irriga e Microtubo, possibilitando que o atrito no gotejador Dangotas se aproximasse do atrito entre dois deles (atrito na seção do tubo entre dois gotejadores consecutivos). Dessa forma, o negligenciamento da perda de carga localizada em linhas laterais que utilizam o gotejador Dangotas pode levar a um dimensionamento incorreto dessas linhas, principalmente quando se utilizam espaçamentos mais curtos entre gotejadores.

QUADRO 4 - Valores do coeficiente de redução F (Christiansen), em função do número de gotejadores (Dangotas) na linha lateral\*

Nº de Gotejadores	Espaçamento entre Gotejadores (metros)					
	1,0	1,5	2,0	3,0	6,0	7,0
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
3	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667
4	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625
5	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
6	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583
7	0,571	0,571	0,571	0,571	0,571	0,571
8	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562
9	0,556	0,556	0,556	0,555	0,555	0,555
10	0,550	0,550	0,550	0,550	0,550	0,550
12	0,542	0,542	0,542	0,542	0,541	0,541
14	0,536	0,536	0,536	0,536	0,535	0,535
16	0,531	0,531	0,531	0,531	0,531	0,531
18	0,528	0,528	0,528	0,528	0,527	0,527
20**	0,440	0,417	0,406	0,395	0,383	0,381
25	0,536	0,482	0,455	0,428	0,400	0,396
30	0,582	0,513	0,478	0,443	0,407	0,402
40	0,623	0,539	0,497	0,454	0,410	0,404
50	0,640	0,549	0,503	0,457	0,408	0,400
60	0,648	0,553	0,505	0,456	0,403	0,394
64	0,650	0,554	0,505	0,455	0,400	-
78	0,654	0,553	0,502	0,449	-	-
87	0,654	0,551	0,498	-	-	-
93	0,653	0,549	-	-	-	-
101	0,651	-	-	-	-	-

\* Obs.: - No cálculo de perda de carga no tubo empregou-se a equação de Darcy-Weisbach.

- Para valores de  $Re < 2\ 000$ , considerou-se  $H_{fg} = 0$ .

- Para valores de  $Re > 2\ 000$ , considerou-se  $H_{fg} = kg \cdot V^2/2\ g$ .

- O cálculo de F foi feito enquanto não houve uma variação maior que 20% na vazão do gotejador.

\*\*  $Re = 2\ 000$ .

#### 4. RESUMO

Foi estudado, no Laboratório de Hidráulica da U.F.V., o dimensionamento de linhas laterais de irrigação por gotejamento que utilizam os gotejadores Dangotas, Irriga e Microtubo. Determinaram-se equações para calcular a perda de carga em tubo de polietileno e observou-se que o coeficiente de rugosidade (C) da equação de Hazen-Williams variou conforme a vazão e o diâmetro do tubo. Os valores do coeficiente de redução de perda de carga (F) de Christiansen foram determinados para cada um dos três tipos de gotejadores, sendo observado que, para peque-



nos espaçamentos entre gotejadores, em linhas laterais com gotejadores Dango-  
tas, a perda de carga localizada não pode ser negligenciada.

QUADRO 5 - Valores do coeficiente de redução F (Christiansen),  
em função do número de gotejadores (Irriga) na li-  
nha lateral\*

Nº de Go- tejadores	Espaçamento entre Gotejadores (metros)					
	1,0	1,5	2,0	3,0	6,0	7,0
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
3	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667
4	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625
5	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
6	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583
7**	0,439	0,429	0,424	0,419	0,413	0,412
8	0,456	0,440	0,432	0,424	0,415	0,414
9	0,465	0,445	0,435	0,425	0,415	0,414
10	0,470	0,448	0,437	0,426	0,414	0,412
12	0,474	0,449	0,436	0,423	0,410	0,408
14	0,475	0,448	0,434	0,420	0,405	0,403
16	0,474	0,446	0,432	0,417	0,401	0,398
18	0,473	0,444	0,429	0,414	0,397	0,393
20	0,472	0,442	0,427	0,411	0,392	0,389
24	0,469	0,438	0,422	0,405	0,383	0,378
25	0,468	0,437	0,421	0,403	0,380	-
32	0,462	0,429	0,411	0,391	-	-
36	0,458	0,424	0,405	-	-	-
40	0,454	0,418	-	-	-	-
45	0,448	-	-	-	-	-

\* Obs.: - No cálculo de perda de carga no tubo empregou-se a equação Darcy-Weisbach.

- Para valores de  $Re < 2\ 000$ , considerou-se  $H_{fg} = 0$ .

- Para valores de  $Re > 2\ 000$ , considerou-se  $H_{fg} = \text{kg} \cdot V^2 / 2 \text{ g}$ .

- O cálculo de F foi feito enquanto não houve uma variação maior que 20% na vazão do gotejador.

\*\*  $Re = 2\ 000$ .

## 5. SUMMARY

At the hydraulic laboratory of the Federal University of Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil, the design of lateral irrigation lines for a drip irrigation system was studied using Dango-  
tas, Irriga and Microtube types of drips.

Equations to calculate head loss in polyethylene tubes were determined. The friction coefficient (C) of the Hazen-Williams equations was observed to vary due to the flow and diameter of the tube. The value of Christiansen's coefficient (F) of head loss reduction was determined for each of the three types of drips.

It was noted that for small spacing between drip units in lateral lines with Dangotas drips, the localized head loss is a fator that cannot be ignored.

QUADRO 6 - Valores do coeficiente de redução F (Christiansen), em função do número de gotejadores (Microtubo) na linha lateral\*

Nº de Gotejadores	Espaçamento entre Gotejadores (metros)					
	1,0	1,5	2,0	3,0	6,0	7,0
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
3	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667
4	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625	0,626
5	0,600	0,600	0,600	0,600	0,601	0,601
6	0,583	0,584	0,584	0,584	0,584	0,584
7	0,572	0,572	0,572	0,572	0,573	0,573
8	0,563	0,563	0,563	0,563	0,564	0,564
9	0,556	0,556	0,556	0,557	0,557	0,558
10	0,550	0,551	0,551	0,551	0,552	0,553
12**	0,408	0,401	0,398	0,394	0,390	0,390
14	0,415	0,406	0,401	0,397	0,391	0,390
16	0,416	0,406	0,401	0,396	0,390	0,389
18	0,415	0,405	0,400	0,394	0,387	0,386
20	0,413	0,403	0,398	0,392	0,385	0,383
25	0,406	0,397	0,392	0,386	0,377	0,375
31	0,399	0,390	0,384	0,378	0,367	0,364
32	0,397	0,388	0,383	0,377	0,365	-
41	0,387	0,378	0,373	0,364	-	-
47	0,381	0,372	0,365	-	-	-
52	0,376	0,366	-	-	-	-
60	0,368	-	-	-	-	-

\* Obs.: - No cálculo de perda de carga no tubo empregou-se a equação de Darcy-Weisbach.

- Para valores de  $Re < 2\ 000$ , considerou-se  $H_{fg} = 0$ .

- Para valores de  $Re > 2\ 000$ , considerou-se  $H_{fg} = \text{kg} \cdot \text{V}^2 / 2 \text{ g}$ .

- O cálculo de F foi feito enquanto não houve uma variação maior que 20% na vazão do gotejador.

\*\*  $Re = 2\ 000$ .

## 6. LITERATURA CITADA

1. FEGHALI, J.P. *Mecânica dos fluidos*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1974. 2 v.
2. HANSON, G.R. *Hdraulics of trickle irrigation emitterlines*. Logan, Utah State University, 1973. 94 p. (Tese M.S.).
3. HOWELL, T.A. & HILLER, E.A. Trickle Irrigation lateral design. *Transactions of the ASAE*, 17(5):902-908, 1974.

4. KARMELI, D. & KELLER, J. *Trickle Irrigation Design*. California, Rain Bird Sprinkler Mfg. Corp., 1975. 133p.
5. OLIVEIRA, C.A. *Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais para irrigação por gotejamento*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1978. 72 p. (Tese M.S.).
6. TOURASSE, E. Escoamento em condutos lisos. *Revista DAE*, 33(93): 45-51. 1973.