

5. ESCOAMENTO EM CONDUTOS FORÇADOS

5.4. PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES COM MÚLTIPLAS SAÍDAS EQÜIDISTANTES





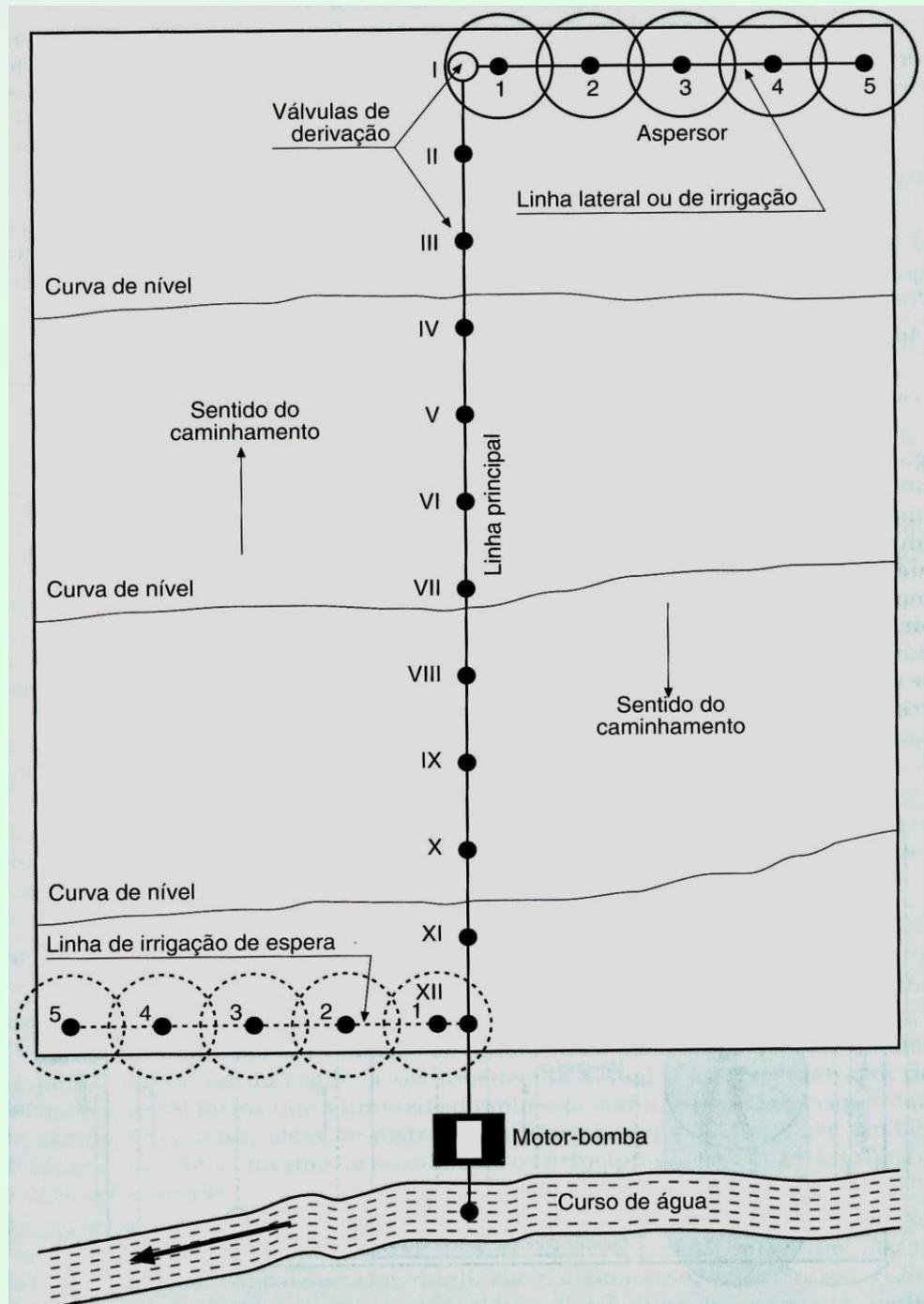




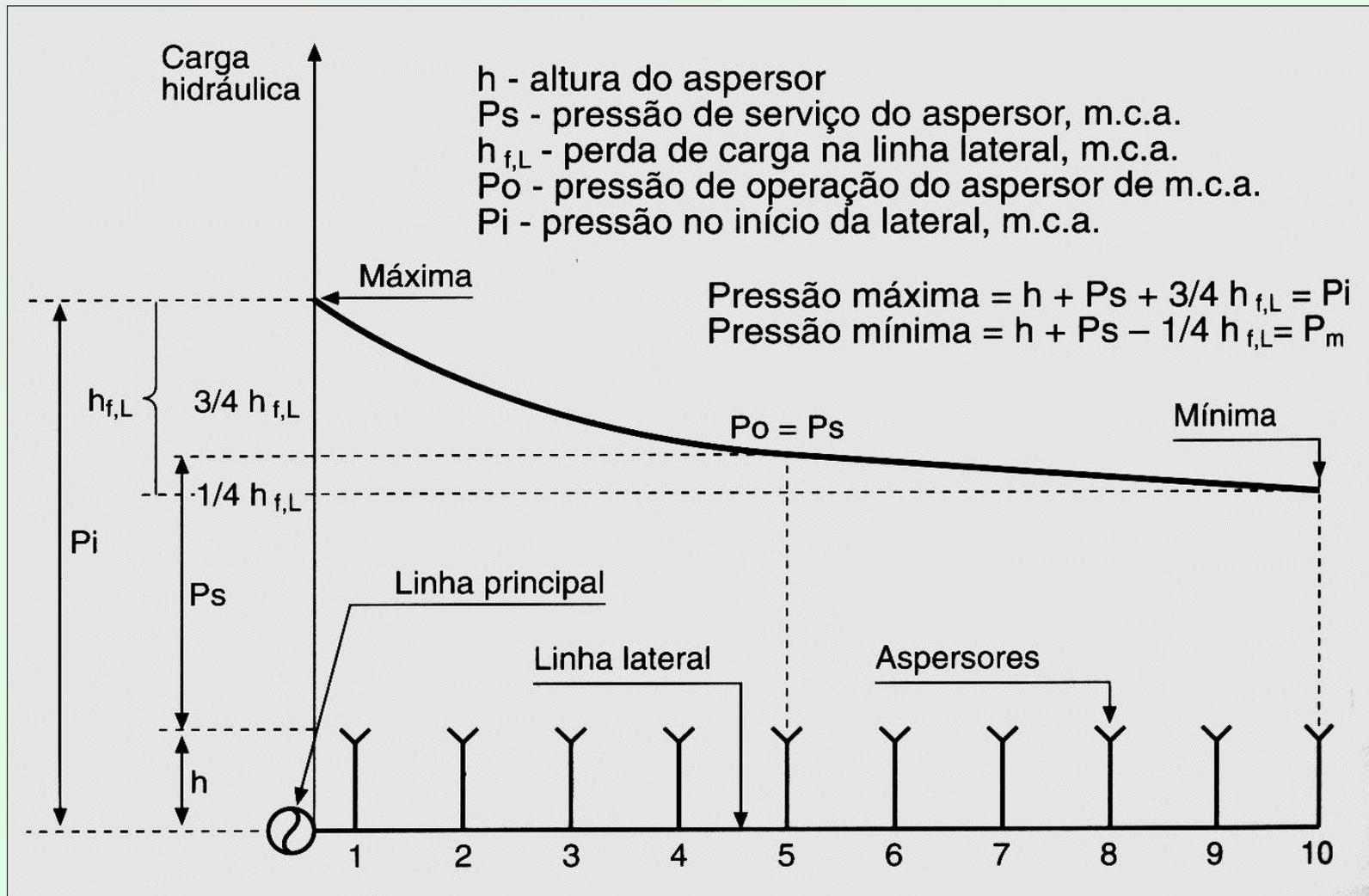




ESQUEMA DE UM SISTEMA DE ASPERSÃO CONVENCIONAL



Distribuição de pressões na linha lateral em nível



- Múltiplas saídas $\Rightarrow hf_{ms} < hf$
- Christiansen (1942) \rightarrow fator “F” para cálculo da perda de carga em tubulação de múltiplas saídas eqüidistantes

$$F = \frac{\text{hf com múltiplas saídas (hf}_{ms})}{\text{hf com única saída (hf)}} = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2.N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6.N^2}$$

Sendo:

N – número de saídas

m – expoente da velocidade na equação utilizada para cálculo de hf

- Fator de Christiansen ajustado (Fa) pela equação de SCALOPPI (1985):

$$F_a = \frac{N.F + x - 1}{N + x - 1}$$

Sendo:

x – razão entre a distância da primeira derivação ao início da tubulação e o espaçamento regular entre derivações ($0 < x < 1$).

Tabela 18. Valores do fator de Christiansen (F) para cálculo da perda de carga em tubulação de múltiplas saídas eqüidistantes nas fórmulas Universal, Hazen-Williams e Flamant.

Número de Saídas	Fator “F” de Christiansen			Número de Saídas	Fator “F” de Christiansen		
	Universal	Hazen-Williams	Flamant		Universal	Hazen-Williams	Flamant
1	1,000	1,000	1,000	16	0,365	0,381	0,395
2	0,625	0,639	0,650	17	0,363	0,380	0,394
3	0,518	0,535	0,546	18	0,361	0,379	0,392
4	0,469	0,486	0,498	19	0,360	0,377	0,390
5	0,440	0,457	0,469	20	0,359	0,376	0,389
6	0,421	0,435	0,451	22	0,357	0,374	0,387
7	0,408	0,425	0,438	24	0,355	0,372	0,385
8	0,398	0,415	0,428	26	0,353	0,370	0,383
9	0,391	0,409	0,421	28	0,351	0,369	0,382
10	0,385	0,402	0,415	30	0,350	0,368	0,380
11	0,380	0,397	0,410	35	0,347	0,365	0,378
12	0,376	0,394	0,406	40	0,345	0,364	0,376
13	0,373	0,391	0,403	50	0,343	0,361	0,374
14	0,370	0,387	0,400	100	0,338	0,356	0,369
15	0,367	0,384	0,398	+ de 100	0,333	0,351	0,365

Exercício de Aplicação

Uma linha lateral de irrigação por aspersão convencional será constituída de tubos de alumínio, sendo instalados 15 aspersores distantes entre si de 12 m, sendo que o primeiro dista 6 m da linha principal. A vazão média dos aspersores é 0,6 L/s na pressão de serviço recomendada de 294 kPa (3 kgf/cm²); sua altura de elevação é 0,8 m e a variação de pressão na linha não deve exceder 20% da pressão de serviço recomendada. Utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams e sabendo que a linha lateral estará posicionada em nível calcular:

- a)** O diâmetro mínimo da linha lateral;
- b)** A variação de pressão na linha lateral se o diâmetro adotado for o comercial imediatamente superior ao mínimo calculado no item a;
- c)** A pressão no início da linha lateral quando a pressão de serviço recomendada ocorrer na metade da linha lateral, utilizando-se o diâmetro calculado no item b.

Solução:

Vazão total da linha lateral: $Q = 15 \times 0,6 = 9,0 \text{ L/s}$ ou $0,009 \text{ m}^3/\text{s}$;

Comprimento da linha lateral: $L = 14 \times 12 + 6 = 174 \text{ m}$;

Carga de serviço recomendada: $C_p = \frac{294000}{9800} = 30 \text{ m}$;

a) $hf_{ms} = 0,2 \times 30 = \mathbf{6,00 \text{ m}}$

$F = 0,384$ (15 aspersores – Tabela 18) para a fórmula de Hazen-Williams

$$F_a = \frac{N.F + x - 1}{N + x - 1} = \frac{15 \cdot 0,384 + \frac{6}{12} - 1}{15 + \frac{6}{12} - 1} = 0,363 \quad hf = \frac{hf_{ms}}{F_a} = \frac{6,00}{0,363} = 16,53\text{m}$$

Logo:

$$D = 1,625 \cdot \frac{Q^{0,38}}{C^{0,38} \cdot J^{0,205}} = 1,625 \cdot \frac{0,009^{0,38}}{135^{0,38} \cdot \left(\frac{16,53}{174}\right)^{0,205}} = 0,0682\text{m}$$

b) O diâmetro comercial superior mais próximo \rightarrow 75 mm. Com isso:

$$J = \frac{hf}{L} \quad \therefore F_a = \frac{hf_{ms}}{hf} \Rightarrow hf = \frac{hf_{ms}}{F_a} \quad \text{logo : } J = \frac{hf_{ms}}{F_a \cdot L}$$

$$J = 10,65 \cdot \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} \Rightarrow \frac{hf_{ms}}{0,363 \cdot 174} = 10,65 \cdot \frac{0,009^{1,852}}{135^{1,852} \cdot 0,075^{4,87}} \Rightarrow hf_{ms} = \mathbf{3,73 \text{ m}}$$

Portanto, a variação de pressão de serviço na linha lateral (Δp) é:

$$\Delta p = -3,73 \cdot 9800 = -36,55 \text{ kPa}$$

ou seja: aproximadamente -12,4% da pressão de serviço.

c) A carga de pressão (C_p) que ocorre no início da linha lateral quando a carga de pressão recomendada ocorrer na metade da linha lateral é obtida por:

$$C_{p_{\text{início}}} = CS + \frac{3}{4}.hf_{ms} + h_{te}$$

A perda de carga ocorrida na primeira metade da linha lateral corresponde aproximadamente a $\frac{3}{4}$ da perda de carga total, pois a vazão sendo maior na primeira metade da linha lateral resulta em maior perda que na metade final (esta regra prática é tanto mais precisa quanto maior for o número de emissores).

Logo:

$$C_{p_{\text{início}}} = 30 + \frac{3}{4}.3,73 + 0,80 = 33,6 \text{ m} \Rightarrow p_{\text{início}} = 329,28 \text{ kPa}$$

Exercício de Aplicação

Uma linha lateral de irrigação por aspersão convencional será constituída de tubos de alumínio, sendo instalados 15 aspersores distantes entre si de 12 m, sendo que o primeiro dista 6 m da linha principal. A vazão média dos aspersores é 0,6 L/s na pressão de serviço recomendada de 294 kPa (3 kgf/cm²); sua altura de elevação é 0,8 m e a variação de pressão na linha não deve exceder 20% da pressão de serviço recomendada. Utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams e sabendo que a linha lateral estará posicionada em declive de 2% calcular:

- a)** O diâmetro mínimo da linha lateral;
- b)** A variação de pressão na linha lateral se o diâmetro adotado for o comercial imediatamente superior ao mínimo calculado no item a;
- c)** A pressão no início da linha lateral quando a pressão de serviço recomendada ocorrer na metade da linha lateral, utilizando-se o diâmetro calculado no item b.

Solução:

Vazão total da linha lateral: $Q = 15 \times 0,6 = 9,0 \text{ L/s}$ ou $0,009 \text{ m}^3/\text{s}$;

Comprimento da linha lateral: $L = 14 \times 12 + 6 = 174 \text{ m}$;

Carga de serviço recomendada: $C_p = \frac{294000}{9800} = 30 \text{ m}$;

Declive da linha lateral (Dec): $\tan \theta = 0,02$ (2%) $\Rightarrow \theta \cong 1,15^\circ$

$$\Rightarrow \text{Dec} = \text{sen } \theta \times 174 = 3,49 \text{ m}$$

$$\text{a) } hf_{ms} = \Delta C_p + \text{Dec} = 0,2 \times 30 + 3,49 = \mathbf{9,49 \text{ m}}$$

$F = 0,384$ (15 aspersores – Tabela 18) para a fórmula de Hazen-Williams

$$F_a = \frac{N.F + x - 1}{N + x - 1} = \frac{15 \cdot 0,384 + \frac{6}{12} - 1}{15 + \frac{6}{12} - 1} = 0,363 \quad hf = \frac{hf_{ms}}{F_a} = \frac{9,49}{0,363} = 26,14 \text{ m}$$

$$\text{logo: } D = 1,625 \cdot \frac{Q^{0,38}}{C^{0,38} \cdot J^{0,205}} = 1,625 \cdot \frac{0,009^{0,38}}{135^{0,38} \cdot \left(\frac{26,14}{174}\right)^{0,205}} = \mathbf{0,0619 \text{ m ou } 61,9 \text{ mm}}$$

b) O diâmetro comercial superior mais próximo \rightarrow 75 mm. Com isso:

$$J = \frac{hf}{L} \quad \therefore F_a = \frac{hf_{ms}}{hf} \Rightarrow hf = \frac{hf_{ms}}{F_a} \quad \text{logo : } J = \frac{hf_{ms}}{F_a \cdot L}$$

$$J = 10,65 \cdot \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} \Rightarrow \frac{hf_{ms}}{0,363 \cdot 174} = 10,65 \cdot \frac{0,009^{1,852}}{135^{1,852} \cdot 0,075^{4,87}} \Rightarrow hf_{ms} = \mathbf{3,73 \text{ m}}$$

Portanto, a variação de pressão de serviço na linha lateral (Δp) é:

$$\Delta p = (3,49 - 3,73) \cdot 9800 = \mathbf{- 2352 \text{ Pa}}$$

ou seja, aproximadamente - **0,8%** da pressão de serviço.

c) A carga piezométrica de serviço que ocorre no início da linha lateral ($C_{p_{início}}$) quando a pressão de serviço ocorrer no meio da linha lateral é obtida pela soma da carga de serviço recomendada (CS) com a perda de carga ocorrida na primeira metade da linha lateral (hf_{ms-pm}) e com a altura do tubo de elevação do aspersor (h_{te}) menos o declive da primeira metade da linha lateral (Dec_{pm}), ou seja:

$$C_{p_{início}} = CS + hf_{ms-pm} + h_{te} - Dec_{pm} \quad \therefore Dec_{pm} = \text{sen}\theta \cdot \frac{174}{2} = 1,75 \text{ m}$$

A perda de carga ocorrida na primeira metade da linha lateral (hf_{ms-pm}) corresponde aproximadamente a $\frac{3}{4}$ da perda de carga total, pois a vazão sendo maior na primeira metade da linha lateral resulta em maior perda que na metade final (esta regra prática é tanto mais precisa quanto maior for o número de emissores), ou seja:

$$hf_{ms-sm} = 3,73 \times 0,75 \cong 2,80 \text{ m}$$

Logo:

$$C_{p_{início}} = 30 + 2,80 + 0,80 - 1,75 = 31,85 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad p_{início} = 312,13 \text{ kPa}$$

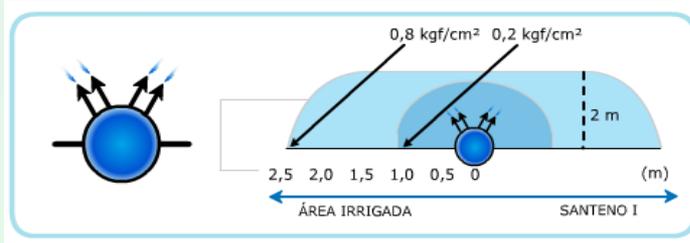
Exercício de Aplicação

Calcular a perda de carga que ocorre em uma tubulação de polietileno com gotejadores instalados “in line”, de comprimento 400 m; diâmetro 16,2 mm; e posicionada em nível para abastecer duas fileiras de cana-de-açúcar (0,4 entre fileiras simples x 1,4 m entre fileiras duplas). Sabe-se que existe 1 gotejador “autocompensante” a cada 0,4 m na linha lateral apresentando vazão média de 0,54 L/h que irá operar por 4 horas diariamente. Sabendo-se que toda água da evapotranspiração da cultura é proveniente da irrigação e considerando uma eficiência de armazenamento da irrigação 95%, estimar a evapotranspiração diária da cana-de-açúcar. Utilizar a fórmula de Flamant para cálculo da perda de carga na tubulação.

Exercício de Aplicação

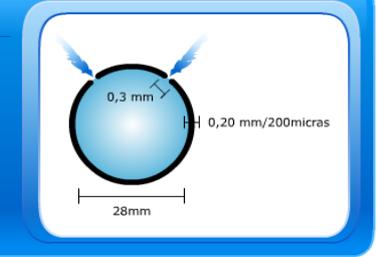
Calcular a perda de carga numa fita de irrigação de plástico do fabricante Santeno posicionada em nível com as seguintes características:

- Comprimento da fita: 180 m;
- Espaçamento dos emissores na fita: 0,75 m;
- Vazão média da fita: 7,47 L/h/m (Litros/hora/metro de fita);
- Diâmetro da fita: 28 mm.



Características Importantes

Diâmetro da mangueira	:28 mm
Espessura da parede	:0,20 mm/200 micras
Pressão de serviço	:0,2 a 0,8 Kgf/cm ²
Distância entre emissores	:0,15 a 1,05 mts
Diâmetro dos emissores	:0,3 mm



PRESSÃO (M.C.A.)	VAZÃO (LITRO / HORA / METRO)						
	ESPAÇAMENTO EMISSORES						
	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05
2,0	7,80	5,87	4,86	4,09	3,03	3,10	2,82
3,0	9,90	7,42	6,11	5,12	4,14	3,84	3,52
4,0	12,00	8,92	7,35	6,18	4,97	7,60	4,20
5,0	14,10	10,54	8,64	7,25	5,80	5,34	4,89
6,0	16,20	12,00	9,84	8,23	6,66	5,85	5,59
7,0	18,30	13,51	11,11	9,31	7,47	6,60	6,30
8,0	20,40	15,08	12,14	10,13	8,28	7,63	6,95
Comprimento Máximo	100m	120 m	140m	160m	180m	190m	200m