



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

ENGENHARIA FÍSICA

Fenômenos de Transporte A **(Mecânica dos Fluidos)**

Prof. Dr. Sérgio R. Montoro

sergio.montoro@usp.br

srmontoro@dequi.eel.usp.br



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

MECÂNICA DOS FLUIDOS

ENGENHARIA FÍSICA

AULA 9

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

A) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELA EQUAÇÃO GERAL

$$h_L = K \frac{V^2}{2g}$$

Sendo:

h_L = perda de carga [m]

K = coeficiente de perda de carga localizada

V = velocidade média [m/s]

g = aceleração da gravidade [m/s²]

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

A técnica consiste em adicionar ao comprimento real (L), dos tubos retos de seção circular constante, comprimentos de tubos com o mesmo diâmetro ao conduto, capazes de provocar a mesma perda de energia gerada pelo acessório.

Este comprimento equivalente pode ser obtido por 2 modos:

- ☐ **Tabelas de Comprimentos Equivalentes**
- ☐ **Tabelas de L/D**

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Entre as equações que já vimos para a determinação de perdas de carga distribuída e localizada, existe uma analogia formal, isto é, ambas são função direta da carga cinética.

Deste modo, e por conveniência de cálculo, as singularidades existentes nas tubulações são muitas vezes expressas em termos de comprimentos equivalentes de condutos retilíneos, os quais provocam a mesma perda de carga que aquela gerada pelo acessório, quando a vazão em ambos é a mesma.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Impondo a igualdade entre as equações de perda de carga localizada e de perda contínua, tem-se:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} = h_d = f \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Em que L_e é chamado de ***comprimento equivalente***, correspondente a cada singularidade.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Da equação anterior pode-se facilmente obter uma expressão para a determinação do comprimento equivalente, como:

$$\frac{L_e}{D} = \frac{K}{f}$$

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

$$\frac{L_e}{D} = \frac{K}{f}$$

Portanto, o ***método dos comprimentos equivalentes*** consiste em substituir, para simples efeito de cálculo, cada acessório da instalação por comprimentos de tubos retilíneos, de igual diâmetro, nos quais a perda de carga seja igual à provocada pelo acessório, quando a vazão em ambos é a mesma.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Assim, cada comprimento equivalente é adicionado ao comprimento real da tubulação, a fim de simplificar o cálculo, transformando o problema em um problema simples perda distribuída.

Deve-se observar pela equação $L_e/D = K/f$ que o comprimento equivalente é uma função do coeficiente de atrito f , e este não é fixo para uma determinada perda e diâmetro, mas depende do número de Reynolds e do coeficiente de rugosidade do conduto.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Também, o coeficiente K é função do número de Reynolds, mas para muitos dos propósitos práticos a variação é pequena, podendo ser desconsiderada.

Esse princípio de equivalência também pode ser aplicado para tubulações e sistemas hidráulicos, na forma de: uma tubulação de certo comprimento, diâmetro e rugosidade é equivalente a outra de características distintas, desde que a perda de carga total em ambas seja a mesma, para uma mesma vazão.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Para cada acessório, caracterizado pelo valor K , pode-se tabelar a equação $L_e/D = K/f$ para valores médios do fator de atrito.

Nesta linha, foi feita uma análise estatística de regressão linear dos dados dos comprimentos equivalentes de várias peças usadas em instalações hidráulicas, apresentadas na tabela 1 a seguir, da referência ABNT, para tubos metálicos, aço galvanizado e ferro fundido.

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Para diâmetros variando de $\frac{3}{4}$ " até $\frac{1}{4}$ ", pode-se verificar uma boa relação linear entre o comprimento equivalente e o diâmetro da peça na forma $L_e = \alpha + \beta D$, que, após transformada para $L_e/D = \alpha/D + \beta$, foi calculada a média aritmética para a faixa de diâmetros indicada, e apresentada na tabela 1.

A forma de apresentação dos comprimentos equivalentes como função de um determinado número de diâmetros, como na tabela 1 a seguir, é particularmente interessante em cálculos de dimensionamento,

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

determinação do diâmetro de uma certa linha, ou quando se utilizam programas de computador.

Para tubos de PVC ou cobre, os valores dos comprimentos equivalentes recomendados pela ABNT e constantes na tabela 2 não permitem a análise de regressão linear feita anteriormente, isto é, não há linearidade entre o comprimento equivalente e o diâmetro para cada acessório.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Desta forma, a tabela original foi simplesmente transcrita, não podendo ser transformada para apresentar os comprimentos equivalentes em números de diâmetros.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Tabela 1: Comprimentos equivalentes em números de diâmetros de canalização para peças metálicas, ferro galvanizado e ferro fundido.

Tabela 3.6 Comprimentos equivalentes em número de diâmetros de canalização para peças metálicas, ferro galvanizado e ferro fundido.

Acessório	Equação	Figura	Comprimento equivalente (Le/D) (nº de diâmetros)
Cotovelo 90° raio longo	$Le = 0,068 + 20,96 D$		22
Cotovelo 90° raio médio	$Le = 0,114 + 26,56 D$		28,5
Cotovelo 90° raio curto	$Le = 0,189 + 30,53 D$		34
Cotovelo 45°	$Le = 0,013 + 15,14 D$		15,4
Curva 90° R/D = 1,5	$Le = 0,036 + 12,15 D$		12,8
Curva 90° R/D = 1	$Le = 0,115 + 15,53 D$		17,5
Curva 45°	$Le = 0,045 + 7,08 D$		7,8
Entrada normal	$Le = - 0,23 + 18,63 D$		14,7
Entrada de Borda	$Le = - 0,05 + 30,98 D$		30,2
Registro de gaveta aberto	$Le = 0,010 + 6,89 D$		7
Registro de globo aberto	$Le = 0,01 + 340,27 D$		342
Registro de ângulo aberto	$Le = 0,05 + 170,69 D$		171,5
Tê 90° passagem direta	$Le = 0,054 + 20,90 D$		21,8
Tê 90° saída lateral	$Le = 0,396 + 62,32 D$		69
Tê 90° saída bilateral	$Le = 0,396 + 62,32 D$		69
Válvula de pé com crivo	$Le = 0,56 + 255,48 D$		265
Saída de canalização	$Le = - 0,05 + 30,98 D$		30,2
Válvula de retenção, leve	$Le = 0,247 + 79,43 D$		83,6

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Comprimentos
equivalentes em
diâmetros de
canalizações
retilíneas

PEÇA	Comprimentos expressos em diâmetros
Ampliação gradual	12D
Cotovelo 90°	45D
Cotovelo 45°	20D
Curva 90°	30D
Curva 45°	15D
Entrada normal	17D
Entrada de borda	35D
Junção	30D
Redução gradual	6D
Registro de gaveta aberto	8D
Registro de globo aberto	350D
Registro de angulo aberto	170D
Saída de canalização	35D
Te passagem direta	20D
Te saída de lado	50D
Te saída bilateral	65D
Válvula de pé com crivo	250D
Válvula de retenção	100D

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Ø NOMINAL	COTOVELOS				CURVAS						TÊS					CRUZETAS		TÊS DE CURVA DUPLA		LUVAS	UNIÕES	
(pol.)	90°	45°	1/4" 45°	1/4" 90°	90°	45°	1/4" 45°	1/4" 90°	1/4" 180°	1/4" 270°	90°	45°	1/4" 45°	1/4" 90°	1/4" 180°	90°	45°	1/4" 45°	1/4" 90°	1/4" 180°	1/4" 270°	1/4" 360°
1/2	0,47	0,44	0,22	0,81	0,27	0,32	0,34	0,20	0,43	0,87	0,08	0,69	0,63	0,09	0,44	0,10	0,67	0,28	0,30	0,01	0,01	
3/4	0,70	0,67	0,32	1,22	0,41	0,48	0,50	0,30	0,65		0,12	1,03	1,25	0,13	0,66	0,15	1,01			0,01	0,01	0,01
1	0,94	0,89	0,43	1,63	0,55	0,64	0,67	0,41	0,88		0,17	1,37	1,66	0,18	0,88	0,20	1,35			0,01	0,01	
1 1/4	1,17	1,11	0,54	2,03	0,68	0,79	0,84	0,51	1,08		0,21	1,71	2,08	0,22	1,10	0,25	1,68			0,01	0,01	
1 1/2	1,41	1,33	0,65	2,44	0,82	0,95	1,01	0,61	1,30		0,25	2,06	2,50	0,27	1,31	0,30	2,02			0,01	0,01	
2	1,88	1,78	0,86	3,25	1,04	1,27	1,35	0,81	1,73		0,33	2,74	3,33	0,36	1,75	0,41	2,69			0,01	0,01	
2 1/2	2,35		1,08		1,37	1,59	1,68	1,02			0,41	3,43	4,18	0,44	2,19					0,01	0,01	
3	2,82		1,30		1,64	1,91	2,02	1,22			0,50	4,11	4,99							0,01	0,01	
4	3,76		1,73		2,18	2,54	2,69				0,66	5,49	6,65							0,02	0,01	
5	4,70		2,16								0,83	6,86	8,32							0,02		
6	5,64		2,59				4,04				0,99	8,23	9,98							0,03		
TE DE REDUÇÃO	3/4 x 1/2	1 x 1/2	1 x 3/4	1 1/4 x 1/2	1 1/4 x 3/4	1 1/4 x 1	1 1/2 x 3/4	1 1/2 x 1	1 1/2 x 1 1/4	2 x 1	2 x 1 1/4	2 x 1 1/2	2 1/2 x 1 1/4	2 1/2 x 1 1/2	2 1/2 x 2	3 x 1 1/2	3 x 2	3 x 2 1/2	4 x 2	4 x 3		
	0,10	0,11	0,14	0,13	0,14	0,17	0,15	0,17	0,21	0,20	0,23	0,28	0,25	0,29	0,35	0,30	0,34	0,42	0,46	0,56		

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

Tabela A-7.8.12-a Comprimentos equivalentes a perdas localizadas (expressos em metros de canalização retilínea *1)

Diâmetro Externo tubos PVC	Diâmetro Interno tubos PVC	Curva 90° Raio longo	Curva 90° Raio médio	Curva 90° Raio curto	Curva 45°	Entrada normal	Entrada de borda	Tê passagem direta	Tê passagem direta e saída lateral	Tê saída lateral	Válvula de gaveta aberta	Válvula de globo aberto	Válvula de ângulo aberto	Válvula de pé e crivo	Saída da canalização	Válvula de retenção tipo leve	Válvula de retenção tipo pesado
mm	mm																
15	12	0,8	1,0	1,2	0,4	0,2	0,6	0,7	1,0	1,2	0,1	4,9	2,6	3,6	0,4	1,1	1,8
20	17	0,9	1,1	1,3	0,5	0,3	0,8	0,8	2,3	2,5	0,1	6,7	3,6	5,6	0,5	1,6	2,4
25	22	1,0	1,2	1,4	0,7	0,4	0,9	0,9	2,4	2,6	0,2	8,2	4,6	7,3	0,7	2,1	3,2
32	28	1,2	1,5	1,8	0,9	0,5	1,1	1,2	3,1	3,3	0,2	11,3	5,6	10,0	0,9	2,7	4,0
40	35	1,4	2,0	2,6	1,0	0,6	1,2	1,5	4,6	4,8	0,3	13,4	6,7	11,6	1,0	3,2	4,8
50	44	2,0	3,2	4,4	1,3	0,8	1,5	2,2	7,3	7,5	0,4	17,4	8,5	14,0	1,5	4,2	6,4
60	53	2,4	3,4	4,6	1,5	1,0	1,9	2,3	7,6	7,8	0,4	21,0	10,0	17,0	1,9	5,2	8,1
75	67	2,8	3,7	4,7	1,7	1,2	2,2	2,4	7,8	8,0	0,5	26,0	13,0	20,0	2,2	6,2	9,7
85	76	3,2	3,9	5,0	1,8	1,5	2,6	2,5	8,0	9,0	0,6	30,0	15,0	21,0	2,7	6,3	11,4
100	90	3,6	4,1	6,0	1,9	2,0	3,2	2,6	8,2	10,0	0,7	34,0	17,0	23,0	3,2	6,5	12,9
110	98	4,0	4,3	7,0	2,0	2,5	4,0	2,7	8,4	11,0	0,9	43,0	21,0	30,0	4,0	10,4	16,1
150	136	4,5	5,2	8,0	2,3	3,0	5,0	3,4	10,0	12,0	1,1	51,0	26,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	182	5,0	5,5	9,0	3,0	4,0	6,0	4,3	13,0	14,0	1,4	67,0	34,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	228	6,0	6,7	10,0	3,8	5,0	7,5	5,5	16,0	18,0	1,7	85,0	43,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	275	7,0	7,9	11,0	4,6	6,0	9,0	6,1	19,0	21,0	2,1	102,0	51,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	320	8,0	9,5	12,0	5,3	7,0	11,0	7,3	22,0	25,0	2,4	120,0	60,0	90,0	11,0	28,0	45,0

* Os valores indicados para válvulas de disco (globo) aplicam-se também às "torneiras", válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.

Tabela adaptada pelo autor (MFF) a partir de normas e tabelas de uso corrente para tubos e conexões novos ou materiais não oxidáveis e não incrustantes e plásticos, para fins de cálculos expeditos e avaliações.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

Tabela A-7.8.13-a Perdas localizadas expressas em diâmetros de canalização retilínea (comprimentos equivalentes)

Peça	Comprimento em número de diâmetros	Peça	Comprimento em número de diâmetros
Ampliação gradual: $A_2/A_1 < 1,6$ e $2D_1 < L < 2D_2$	12	Válvula de gaveta aberta 100%	8
Ampliação brusca (90°)	20	Válvula borboleta aberta 100%	40
Redução gradual: $A_2/A_1 < 1,6$ e $2D_1 < L < 2D_2$	6	Válvula de ângulo aberta 100%	170
Redução brusca (90°) $0,01 < (D_2/D_1)^2 > 0,8$	10	Válvula de disco (globo) aberta 100%	350
Bocais $0,5 < D_2/D_1 < 0,8$ (ver item A-5.2.3/A-5.2.7)	6	Válvula controladora de vazão aberta 100%	350
Curva 90° longa	30	Válvula de pé 100% aberta	100
Curva 90° raio curto (cotovelo)	45	Válvula retenção portinhola ou disco, sem mola	100
Curva 45° longa	15	Crivo	150
Curva 45° curta	20	Saída (chegada) aérea (pressão atmosférica)	35
Curva 22,5	15	Saída (chegada) afogada em reservatório	5
Tê passagem direta DN ₁ (saída lateral fechada)	20	Tomada (entrada normal), <i>Figura A-7.8.3-a(1)</i>	17
Tê passagem + saída lateral $< 20\%$ Q_1 , $D_2 < D_1$	50	Tomada (entrada reentrante), <i>Figura A-7.8.3-a(2)</i>	35
Tê bifurcação simétrica	65	Tomada (entrada em sino), <i>Figura A-7.8.3-a(3)</i>	10
Pequenas derivações (tipo ferrule) $0,05 < D_2/D_1 < 0,25$	40	Tomada (entrada redução cônica), <i>Figura A-7.8.3-a(4)</i>	12
Junção a 45°, tipo barrilete	30	Medidor Venturi	18
Curva 30° aço, segmentada 2 gomos	7	Curva 45° aço, segmentada 2 gomos	15
Curva 45° aço, segmentada 3 gomos	10	Curva 60° aço, segmentada 2 gomos	25
Curva 60° aço, segmentada 3 gomos	15	Curva 90° aço, segmentada 2 gomos	65
Curva 90° aço, segmentada 3 gomos	25	Curva 30° aço, segmentada 4 gomos	15

Notas:

01 – Consultar catálogos de fabricantes.

02 – Em aço, considerar peças novas e tubulação nova; sendo toda em plástico, cobre etc., supõe-se sempre nova.

03 – Dados das válvulas considerando-as 100% abertas.

04 – No caso de reduções e ampliações, usar o diâmetro de jusante.

05 – Valores compulsados e interpolados de forma expedita para fins de avaliações.

Consultar catálogo fabricantes – dados das válvulas considerando-as 100% abertas.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Tabela 2: Comprimentos equivalentes (m), peças de PVC rígido ou cobre, conforme ABNT.

Diâmetro externo mm ref.	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° direto	Tê 90° lateral	Entrada normal	Entrada de Borda	Saída de canalização	Válvula de pé e crivo	Válvula retenção leve	Registro globo aberto	Registro gaveta aberto
25 – 3/4	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	11,4	0,2
32 – 1	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	15,0	0,3
40 – 1 1/4	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	22,0	0,4
50 – 1 1/2	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	35,8	0,7
60 – 2	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	37,9	0,8
75 – 2 1/2	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	38,0	0,9
85 – 3	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	40,0	0,9
110 – 4	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	42,3	1,0
140 – 5	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	2,5	5,0	4,9	37,4	12,5	50,9	1,1
160 – 6	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	2,8	5,6	5,5	43,4	13,9	56,7	1,2

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES: VALORES PRÁTICOS

1. A Tabela A-7.8.12-a inclui valores para os comprimentos fictícios correspondentes às perdas em peças e acessórios mais frequentes nas tubulações. Os dados apresentados foram em grande parte calculados pelo prof. Azevedo Netto, com base na fórmula de Darcy-Weisbach em sua apresentação americana, tendo sido adotados valores precisos de K. Em parte eles se baseiam também em diversos trabalhos de profissionais do ramo e catálogos de fabricantes que ensaiaram suas peças.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES: VALORES PRÁTICOS

Tabela A-7.8.12-a

Tabela A-7.8.12-a Comprimentos equivalentes a perdas localizadas (expressos em metros de canalização retilínea *1)

Diâmetro Externo tubos PVC	Diâmetro Interno tubos PVC	Curva 90° Raio longo	Curva 90° Raio médio	Curva 90° Raio curto	Curva 45°	Entrada normal	Entrada de borda	Tê passagem direta	Tê passagem direta e saída lateral	Tê saída lateral	Válvula de gaveta aberta	Válvula de globo aberto	Válvula de ângulo aberto	Válvula de pé e crivo	Saída da canalização	Válvula de retenção tipo leve	Válvula de retenção tipo pesado
mm	mm																
15	12	0,8	1,0	1,2	0,4	0,2	0,6	0,7	1,0	1,2	0,1	4,9	2,6	3,6	0,4	1,1	1,8
20	17	0,9	1,1	1,3	0,5	0,3	0,8	0,8	2,3	2,5	0,1	6,7	3,6	5,6	0,5	1,6	2,4
25	22	1,0	1,2	1,4	0,7	0,4	0,9	0,9	2,4	2,6	0,2	8,2	4,6	7,3	0,7	2,1	3,2
32	28	1,2	1,5	1,8	0,9	0,5	1,1	1,2	3,1	3,3	0,2	11,3	5,6	10,0	0,9	2,7	4,0
40	35	1,4	2,0	2,6	1,0	0,6	1,2	1,5	4,6	4,8	0,3	13,4	6,7	11,6	1,0	3,2	4,8
50	44	2,0	3,2	4,4	1,3	0,8	1,5	2,2	7,3	7,5	0,4	17,4	8,5	14,0	1,5	4,2	6,4
60	53	2,4	3,4	4,6	1,5	1,0	1,9	2,3	7,6	7,8	0,4	21,0	10,0	17,0	1,9	5,2	8,1
75	67	2,8	3,7	4,7	1,7	1,2	2,2	2,4	7,8	8,0	0,5	26,0	13,0	20,0	2,2	6,2	9,7
85	76	3,2	3,9	5,0	1,8	1,5	2,6	2,5	8,0	9,0	0,6	30,0	15,0	21,0	2,7	6,3	11,4
100	90	3,6	4,1	6,0	1,9	2,0	3,2	2,6	8,2	10,0	0,7	34,0	17,0	23,0	3,2	6,5	12,9
110	98	4,0	4,3	7,0	2,0	2,5	4,0	2,7	8,4	11,0	0,9	43,0	21,0	30,0	4,0	10,4	16,1
150	136	4,5	5,2	8,0	2,3	3,0	5,0	3,4	10,0	12,0	1,1	51,0	26,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	182	5,0	5,5	9,0	3,0	4,0	6,0	4,3	13,0	14,0	1,4	67,0	34,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	228	6,0	6,7	10,0	3,8	5,0	7,5	5,5	16,0	18,0	1,7	85,0	43,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	275	7,0	7,9	11,0	4,6	6,0	9,0	6,1	19,0	21,0	2,1	102,0	51,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	320	8,0	9,5	12,0	5,3	7,0	11,0	7,3	22,0	25,0	2,4	120,0	60,0	90,0	11,0	28,0	45,0

* Os valores indicados para válvulas de disco (globo) aplicam-se também às "torneiras", válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.

Tabela adaptada pelo autor (MFF) a partir de normas e tabelas de uso corrente para tubos e conexões novos ou materiais não oxidáveis e não incrustantes e plásticos, para fins de cálculos expeditos e avaliações.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES: VALORES PRÁTICOS

2. Os comprimentos equivalentes, embora tenham sido calculados para tubulações de ferro e aço, poderão ser aplicados com aproximação razoável ao caso das tubulações de outros materiais.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES: VALORES PRÁTICOS

3. As imprecisões e discrepâncias resultantes do emprego generalizado desse método e dos dados apresentados são, provavelmente, menos consideráveis que as indeterminações relativas à rugosidade interna dos tubos e resistência ao escoamento, assim como à sua variação na prática.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES: VALORES PRÁTICOS

4. **Nova simplificação** $\Rightarrow$ Considerando os comprimentos L apresentados na Tabela A-7.8.12-a, para determinar perdas e dividindo esses comprimentos pelos diâmetros das tubulações, verifica-se que os resultados apresentam uma variação relativamente pequena. Assim é que os dados relativos às perdas em cotovelos de 90° , de raio médio, levam a valores de L/D variando desde 26 (para DN 300) até 31 (para DN 20). (DN: Diâmetro Nominal [mm])

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES: VALORES PRÁTICOS

5. Nessas condições, as informações contidas na Tabela A-7.8.12-a podem ser condensadas tomando-se os comprimentos equivalentes expressos em diâmetros das canalizações.

A Tabela A-7.8.13-a inclui os dados recomendados pelo prof. Azevedo Netto.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

Tabela A-7.8.13-a

Tabela A-7.8.13-a Perdas localizadas expressas em diâmetros de canalização retilínea (comprimentos equivalentes)

Peça	Comprimento em número de diâmetros	Peça	Comprimento em número de diâmetros
Ampliação gradual: $A_2/A_1 < 1,6$ e $2D_1 < L < 2D_2$	12	Válvula de gaveta aberta 100%	8
Ampliação brusca (90°)	20	Válvula borboleta aberta 100%	40
Redução gradual: $A_2/A_1 < 1,6$ e $2D_1 < L < 2D_2$	6	Válvula de ângulo aberta 100%	170
Redução brusca (90°) $0,01 < (D_2/D_1)^2 < 0,8$	10	Válvula de disco (globo) aberta 100%	350
Bocais $0,5 < D_2/D_1 < 0,8$ (ver item A-5.2.3/A-5.2.7)	6	Válvula controladora de vazão aberta 100%	350
Curva 90° longa	30	Válvula de pé 100% aberta	100
Curva 90° raio curto (cotovelo)	45	Válvula retenção portinhola ou disco, sem mola	100
Curva 45° longa	15	Crivo	150
Curva 45° curta	20	Saída (chegada) aérea (pressão atmosférica)	35
Curva 22,5	15	Saída (chegada) afogada em reservatório	5
Tê passagem direta DN ₁ (saída lateral fechada)	20	Tomada (entrada normal), <i>Figura A-7.8.3-a(1)</i>	17
Tê passagem + saída lateral $< 20\%$ Q_1 , $D_2 < D_1$	50	Tomada (entrada reentrante), <i>Figura A-7.8.3-a(2)</i>	35
Tê bifurcação simétrica	65	Tomada (entrada em sino), <i>Figura A-7.8.3-a(3)</i>	10
Pequenas derivações (tipo ferrule) $0,05 < D_2/D_1 < 0,25$	40	Tomada (entrada redução cônica), <i>Figura A-7.8.3-a(4)</i>	12
Junção a 45°, tipo barrilete	30	Medidor Venturi	18
Curva 30° aço, segmentada 2 gomos	7	Curva 45° aço, segmentada 2 gomos	15
Curva 45° aço, segmentada 3 gomos	10	Curva 60° aço, segmentada 2 gomos	25
Curva 60° aço, segmentada 3 gomos	15	Curva 90° aço, segmentada 2 gomos	65
Curva 90° aço, segmentada 3 gomos	25	Curva 30° aço, segmentada 4 gomos	15

Notas:

01 – Consultar catálogos de fabricantes.

02 – Em aço, considerar peças novas e tubulação nova; sendo toda em plástico, cobre etc., supõe-se sempre nova.

03 – Dados das válvulas considerando-as 100% abertas.

04 – No caso de reduções e ampliações, usar o diâmetro de jusante.

05 – Valores compulsados e interpolados de forma expedita para fins de avaliações.

Consultar catálogo fabricantes – dados das válvulas considerando-as 100% abertas.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

IMPORTÂNCIA RELATIVA DAS PERDAS LOCALIZADAS

As perdas localizadas podem ser desprezadas nas tubulações longas cujo comprimento exceda cerca de 4000 vezes o diâmetro. Ver a Tabela A-5.3.2-a.

Tabela A-5.3.2-a Influência das perdas em tubulações de descarga livre

	Comprimento expresso em diâmetros				
	5	50	100	1.000	10.000
Carga de velocidade*	62%	41%	29%	5%	0,5%
Perda na entrada	32%	20%	15%	2%	0,3%
Perda nos tubos	6%	39%	56%	93%	99,3%

*Em termos da carga disponível h .

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

IMPORTÂNCIA RELATIVA DAS PERDAS LOCALIZADAS

São ainda desprezíveis nas canalizações em que a velocidade é baixa e o número de peças especiais não é grande.

Assim, por exemplo, o engenheiro, usando sua percepção (sua arte), saberá se vale a pena sair calculando as perdas localizadas ou se estas podem ser embutidas em um coeficiente de segurança ou no coeficiente de rugosidade e não ser levadas em conta nos cálculos de linhas adutoras, redes de distribuição, etc.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

IMPORTÂNCIA RELATIVA DAS PERDAS LOCALIZADAS

Tratando-se de canalizações curtas, bem como de tubulações que incluem grande número de peças especiais, é importante considerar as perdas acidentais.

Tal é o caso das instalações prediais e industriais, dos encanamentos de recalque e dos condutos forçados das usinas hidrelétricas.

PERDA DE CARGA EM ACIDENTES DE TUBULAÇÃO

B) CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA PELO MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

IMPORTÂNCIA RELATIVA DAS PERDAS LOCALIZADAS

Cuidados no caso de velocidades muito elevadas $\Rightarrow$ É importante assinalar que, no caso de tubulações funcionando com velocidades elevadas, as perdas de carga localizadas passam a ter valores que chegam a ultrapassar os valores das perdas ao longo das linhas.