Escoamentos Internos: Parte III

PME3222 - Mecânica dos Fluidos Para Eng. Civil

PME/EP/USP

Prof. Antonio Luiz Pacífico

1° Semestre de 2019

Conteúdo da Aula

Introdução

Na aula passada (Escoamentos Internos: Parte II) foram introduzidos os conceitos de turbulência, escoamento interno viscoso, perda de carga e perda de carga distribuída. Agora será abordado o conceito de perda de carga singular, ou localizada, e serão propostos exercícios para fixação de todo conteúdo abordado.

Perda de Carga Total

O termo h_L é a **perda de carga total** do escoamento numa tubulação. Esta perda de carga total é subdividida em duas outras: **perda de carga distribuída**, quando é devida aos trechos retos de tubo com área da seção transversal constante; e **perda de carga localizada ou singular** relativa às singularidades (elementos) tais como válvulas, conexões, etc. Estas perdas localizadas são tratadas como pequenas descontinuidades na linha piezométrica e nas linhas de energia e são causadas essencialmente por escoamentos separados ou secundários que *consomem* energia do escoamento. Deste modo, designando por h_d as perdas de carga distribuídas e por h_s as localizadas:

$$h_L = \sum_{i=0}^{N} h_{d,i} + \sum_{j=0}^{M} h_{s,j} \qquad (1)$$

Perda de Carga Localizada

Para qualquer sistema de tubulações, além da perda de carga distribuída ao logo do comprimento de tubos, ocorrem perdas de carga adicionais chamadas de singulares, ou localizadas, ou ainda secundárias, devido às seguintes ocorrências:

- entradas ou saídas de dutos;
- expansões e contrações bruscas ou suaves;
- curvas e cotovelos;
- tês e outras conexões;
- válvulas totalmente ou parcialmente abertas;
- filtros;
- medidores de vazão e/ou sondas de instrumentação, etc.

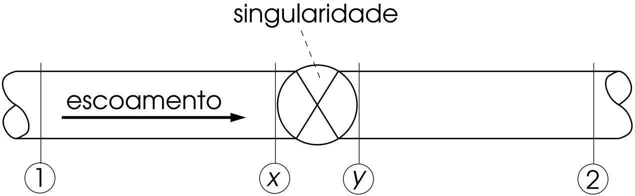
Perda de Carga Localizada

A presenças dessas singularidades perturbam o escoamento do fluido, fazendo com que as trajetórias médias não sejam paralelas ao eixo do duto, ou ocorram deslocamentos e superfícies de descontinuidades que geram a formação de vórtices e esteiras e, consequentemente, perdas de carga localizadas associadas.

A carga em uma seção da singularidade é dada por: $H = (\alpha.\overline{V}^2/2.g) + (\alpha'.p/\gamma) + z$, onde α e α' dependem da seção e podem variar sensivelmente de uma seção para outra. São coeficientes que levam em conta a não uniformidade da distribuição de velocidades e pressão na seção.

Perda de Carga Localizada

A perda de carga entre duas seções imediatamente à montante e à jusante da singularidade é dada por: $H_x - H_y = \Delta H_{xy}$.



Porém, dada a dificuldade de medição de H_x e H_y, que se localizam em seções perturbadas, inserem-se trechos de duto à montante e à jusante da sigularidade para se medir as cargas em seções não perturbadas do escoamento, i.e., indiferentes à presença da singularidade. Assim,

$$h_s = \Delta H_{12} - h_{d,12}$$

Perda de Carga Localizada

Conforme visto anterioremente, para o cálculo da perda de carga total, h_L, de um circuito hidráulico, são necessários o conhecimento tanto da perda de carga distribuída, h_d, como da singular (ou localizada), h_s. O modelo matemático utilizado para o cálculo de h_s é:

$$h_s = K \cdot \frac{\overline{V}^2}{2.g} \tag{2}$$

onde K é conhecido como **coeficiente de perda de carga singular** que depende essencialmente de geometria da singularidade. A experiência mostra que h_s depende das grandezas: ρ, $\overline{V}$, D, μ, além da geometria da singularidade. Esta geometria configura o que se costuma chamar de coeficiente de forma da singularidade, função de variáveis como ângulo, relação entre diâmetros, raio de curvatura, arredondamento de arestas, etc.

Perda de Carga Localizada

Idealizando que exista uma tubulação capaz de reproduzir a perda de carga singular, pode-se escrever:

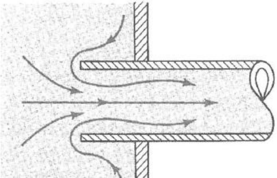
$$h_s = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{\overline{V}^2}{2.g} \text{ ; onde } K = f \cdot \frac{L_{eq}}{D}$$

com L_{eq} sendo o comprimento equivalente da perda de carga singular. Este conceito, artificial, permite relacionar todos os tipos de perda de carga. Assim, para um sistema de tubulações com muitas singularidades e trechos retos de tubos com diâmetro constante, pode-se escrever:

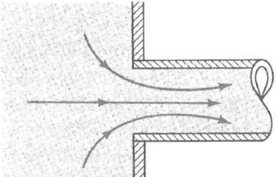
$$h_L = h_d + \sum_{i=1}^{N} h_s = \frac{f}{D} \cdot \left(\sum_{j=1}^{M} L_j + \sum_{i=1}^{N} L_{eq,i} \right) \cdot \frac{\overline{V}^2}{2.g}$$

A seguir apresentam-se valores e métodos de cálculo de K para as singularidades mais frequentes em circuitos hidráulicos.

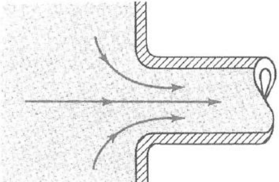
Perda de Carga Localizada: saídas de reservatórios



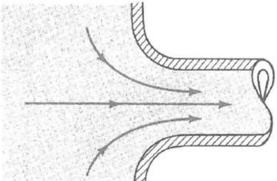
K = 0,8



K = 0,5

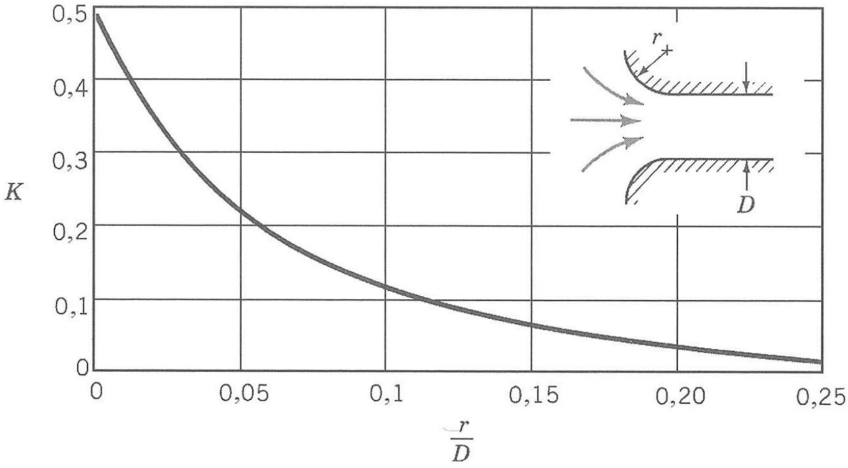


K = 0,2

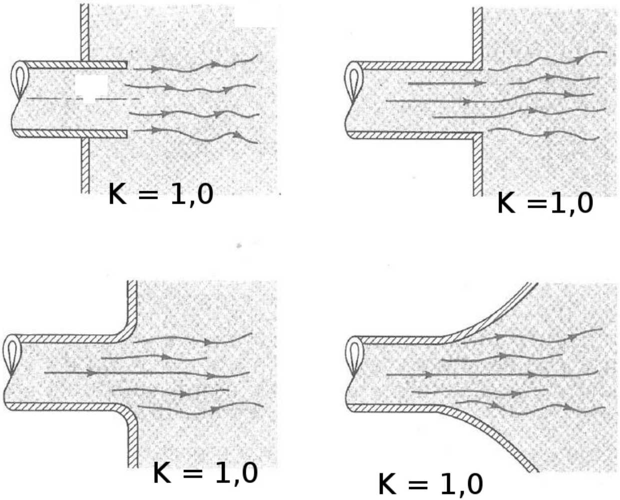


K = 0,04

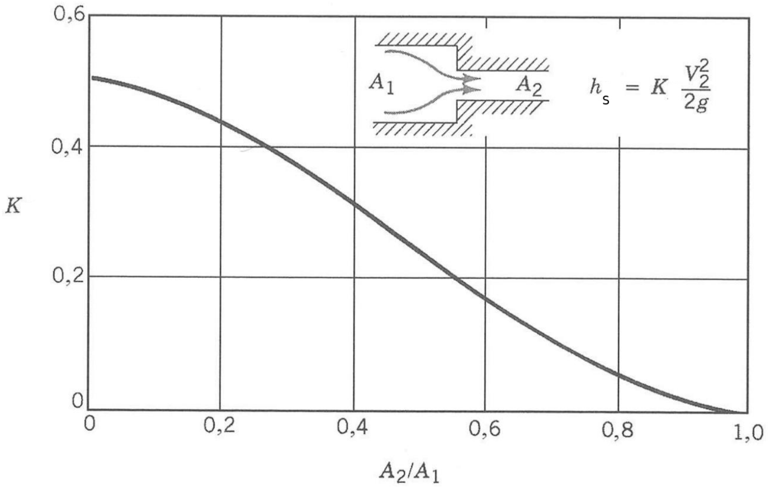
Perda de Carga Localizada: saídas de reservatórios



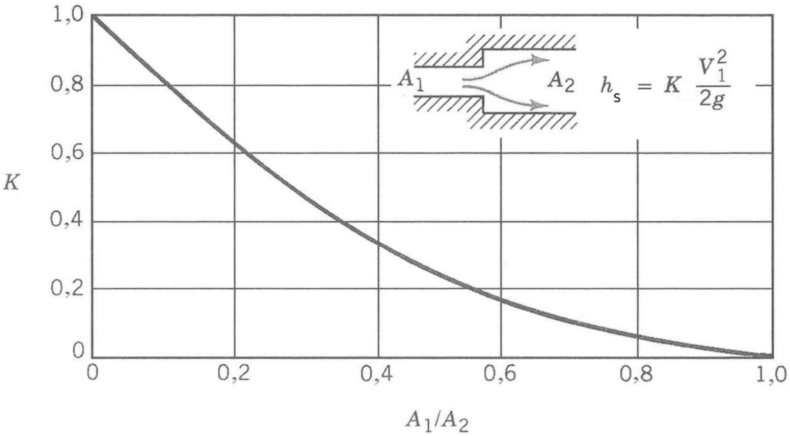
Perda de Carga Localizada: entradas em reservatórios



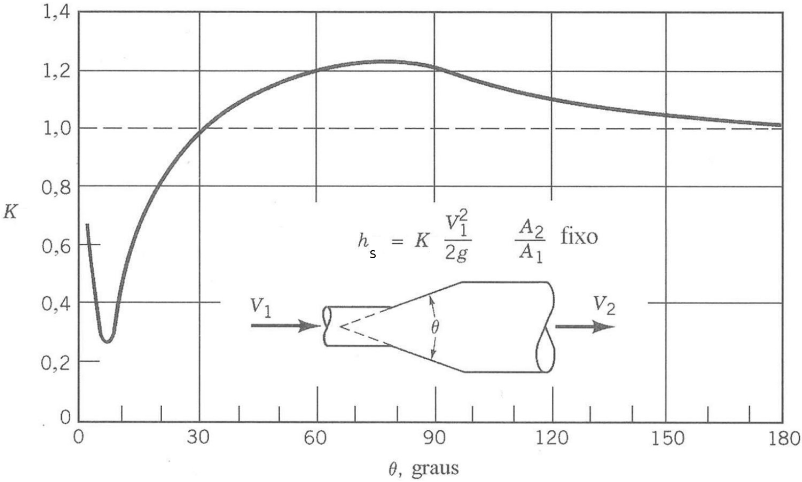
Perda de Carga Localizada: contração brusca



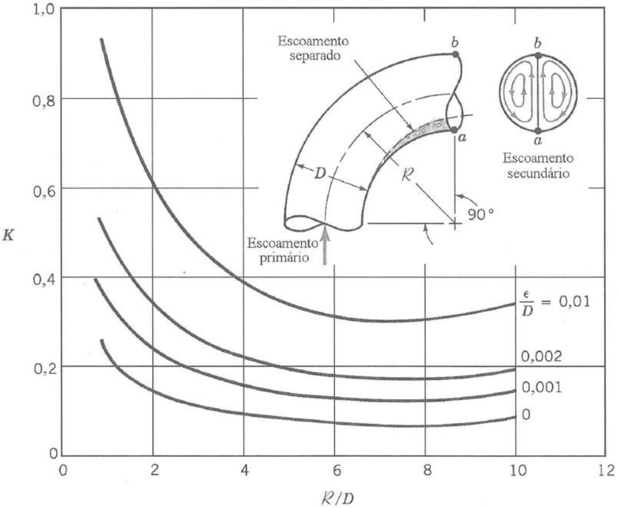
Perda de Carga Localizada: expansão brusca



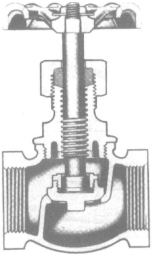
Perda de Carga Localizada: difusor



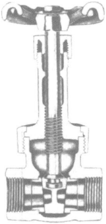
Perda de Carga Localizada: curvas 90°



Perda de Carga Localizada: exemplos de válvulas

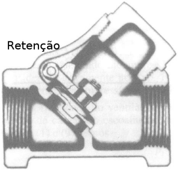


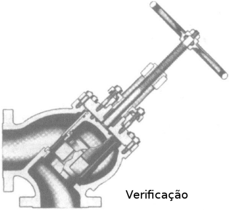
Globo



Gaveta

Retenção

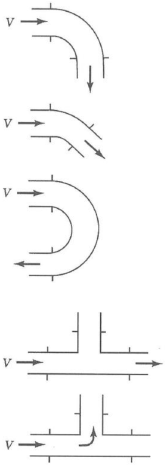




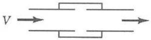
Verificação

Perda de Carga Localizada: componentes de tubulação

Componente	*K*
a. Curvas	
90º (raio normal), flangeada	0,3
90º (raio normal), rosqueada	1,5
90º (raio longo), flangeada	0,2
90º (raio longo), rosqueada	0,7
45º (raio longo), flangeada	0,2
45º (raio normal)	0,4
b. Retornos (curvas com 180º)	
flangeados	0,2
rosqueados	1,5
c. Tês	
Escoamento alinhado, flangeado	0,2
Escoamento alinhado, rosqueado	0,9
Escoamento derivado, flangeado	1,0
Escoamento derivado, rosqueado	2,0



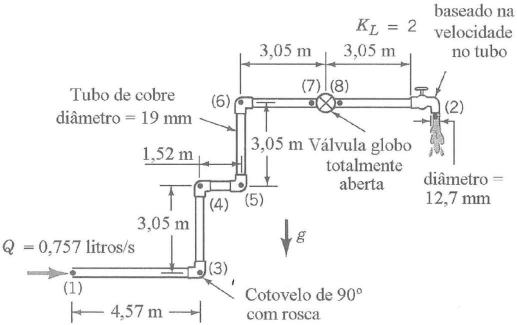
Perda de Carga Localizada: componentes de tubulação

Componente	K	
d. União rosqueada	0,08	
e. Válvulas*		
Globo, totalmente aberta	10	
Gaveta, totalmente aberta	0,15	
Gaveta, 1/4 fechada	0,26	
Gaveta, 1/2 fechada	2,1	
Gaveta, 3/4 fechada	17	
Retenção, escoamento a favor	2	
Retenção, escoamento contrário	∞	
Esfera, totalmente aberta	0,05	
Esfera, 1/3 fechada	5,5	
Esfera, 2/3 fechada	210	

OBS: Quando nada for especificado, adotar o valor $\overline{V}$ **à montante da singularidade** para o cálculo de h_s.

Exercício de Aula 1

Enunciado: Água, a 20 °C, escoa do térreo para o segundo andar de um edifício através de um tubo estirado de cobre que apresenta diâmetro igual a 19 mm. A figura ao lado mostra que a vazão na torneira, cujo diâmetro na saída é de 12,7 mm, é 0,757 L/s. Determine a pressão no ponto (1) consideranto todas as perdas (distribuídas e localizadas). [Munson, Exemp. 8.8, 4a Edição]

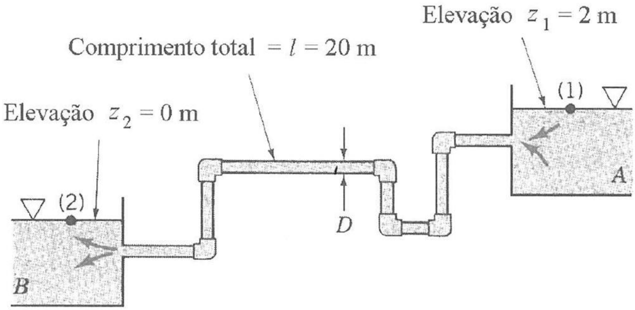


Exercício de Aula 2

O manual do fabricante de um secador de roupa indica que a tubulação de exaustão de gás (diâmetro = 102 mm e fabricado com ferro fundido) não pode apresentar comprimento total maior que 6,1 m e quatro curvas de 90°. Determine a vazão de ar nesta tubulação sabendo que a pressão dentro do secador é 50 Pa. Admita que a temperatura do ar descarregado do secador é igual a 37 °C. [Munson, Exemp. 8.10, 4a Edição]

Exercício de Aula 3

Água a 10 °C ($\nu = 1,307 \times 10^{-6}$ m^2.s, veja tabela B.1) escoa do reservatório A nostrado na figura abaixo para o reservatório B através de uma tubulação de ferro fundido ($\varepsilon = 0,26$ mm) que apresenta 20 m de comprimento. A vazão de água é de 0,002 m^3/s. O sistema contém uma entrada de canto e seis curvas normais de 90°. Determine o diâmetro desta tubulação. [Munson, Exemp. 8.13, 4a Edição]



Exercício Proposto 1

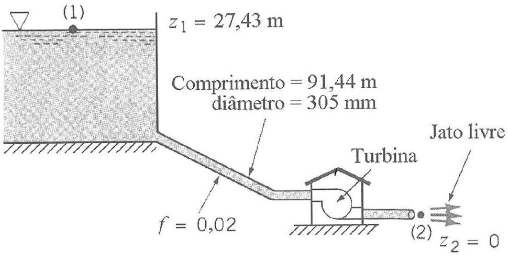
Enunciado: Óleo cru a 60 °C ($\gamma = 8436$ N/m^3 e $\mu = 3,83 \times 10^{-3}$ Pa.s) é bombeado através do Alasca numa tubulação de aço com diâmetro e comprimento de 1219 mm e 1286 km, respectivamente. A vazão de óleo na tubulação é de 3,31 m^3/s. Determine a poetência necessária para bombear o óleo nesta tubulação. [Munson, Exemp. 8.9, 4a Edição]

Resp.: 154,6 MW

Exercício Proposto 2

Enunciado: A potência da turbina esboçada na figura ao lado é 37,3 kW. A tubulação de alimentação da turbina apresenta diâmetro interno e comprimento iguais a 305 mm e 91,44 m, respectivamente. Admitindo que o fator de atrito do escoamento no tubo é igual a 0,02 e que as perdas de cargas localizadas são desprezíveis, determine a vazão de água através da turbina. Utilize os pontos (1) e (2) já assinalados na figura. [Munson, Exemp. 8.11, 4a Edição]

Resp.: 0,146 m^3/s ou 0,555 m^3/s



Exercício Proposto 3

Ar, a 25 °C e pressão padrão, escoa num tubo de ferro galvanizado e horizontal ($\varepsilon = 0,15$ mm) com uma vazão de 0,0566 m^3/s. Determine o diâmetro mínimo do tubo sabendo que a queda de pressão não deve ser maior do que 113 Pa por metro de tubo. [Munson, Exemp. 8.12, 4a Edição]

Resp.: 59 mm