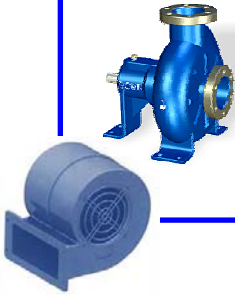


Universidade Federal do Paraná  
Curso de Engenharia Industrial Madeireira

## MÁQUINAS HIDRÁULICAS AT-087



M.Sc. Alan Sulato de Andrade

[alansulato@ufpr.br](mailto:alansulato@ufpr.br)

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### INTRODUÇÃO:

- Este aula irá disponibilizar informações relacionadas à hidráulica de tubulações, demonstrando aspectos práticos que envolvem a análise do escoamento de fluidos incompressíveis em regime permanente. Pode-se afirmar que a reunião dessas condições representa a grande maioria das situações com as quais uma grande parte dos engenheiros se defrontarão no seu dia-a-dia.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### INTRODUÇÃO:

- Quando um líquido escoa de um ponto para outro no interior de um tubo, ocorrerá sempre uma perda de energia, denominada perda de pressão (Sistemas de ventilação ou exaustão) ou perda de carga (Sistemas de bombeamento de líquidos). Esta perda de energia é devida principalmente ao atrito do fluido com uma camada estacionária aderida à parede interna do tubo.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### INTRODUÇÃO:

- O emprego de tubulações no transporte de fluidos pode ser realizada de duas formas: tubos fechados e canais abertos. Esta aula trará informações sobre os meios de se calcular a resistência ou perda de carga em diversas classes de tubulações (tubos fechados).

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Podemos classificar as perdas de duas formas:
  - Perdas de carga distribuídas ou Primárias e
  - Perdas de carga localizadas ou Secundárias.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

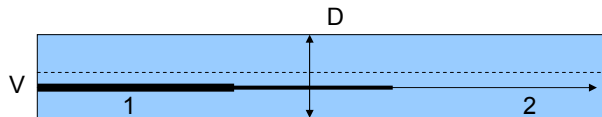
- Perda de Carga Distribuída ou Primária:

A parede dos dutos retilíneos causa uma perda de pressão distribuída ao longo do comprimento do tubo, fazendo com que a pressão total vá diminuindo gradativamente ao longo do comprimento.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Perda de Carga Distribuída ou Primária:

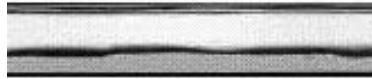


Em uma corrente real, os valores da pressão são diferentes entre os pontos 1 e 2. Isto caracteriza uma perda de carga.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Perda de Carga Distribuída ou Primária:

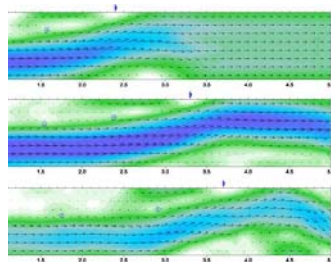


Visualização de perdas de superfície no contato do fluido e a parede do tubo

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Perda de Carga Distribuída ou Primária:



Modelos matemáticos utilizados na determinação de perdas de superfície no contato do fluido e a parede do tubo

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Perda de Carga Distribuída ou Primária:



Material e condições dos tubos influenciam diretamente no aumento de perda de carga em tubulações.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Perda de Carga Localizada ou Secundária:  
Este tipo de perda de carga é causado pelos acessórios de canalização isto é, as diversas peças necessárias para a montagem da tubulação e para o controle do fluxo do escoamento, que provocam variação brusca da velocidade, em módulo ou direção, intensificando a perda de energia nos pontos onde estão localizadas.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Perda de Carga Localizada ou Secundária:  
O escoamento sofre perturbações bruscas em pontos da instalação tais como em válvulas, curvas, reduções, expansões, emendas entre outros.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Perda de Carga Localizada ou Secundária:



Tubulações compostas por muitas conexões, apresentam uma perda de carga relativamente alta.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Perda de Carga Localizada ou Secundária:

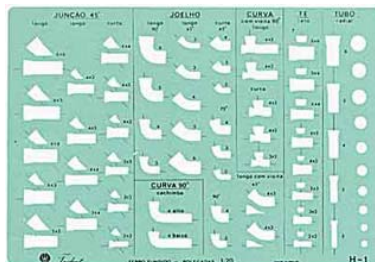


Cada componente apresenta um valor específico de perda de carga

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### TIPOS DE PERDAS:

- Perda de Carga Localizada ou Secundária:



Os componentes mais comuns são: Junções, joelhos, curvas, expansões e reduções.



## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Em um sistema para identificar a perda de carga total somamos a Perda de carga distribuída ou Primária mais Perda de Carga Localizada ou Secundária.

$$H_{r1-2} = H_{rp} + H_{rs}$$

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:  
Utilização da equação de Darcy-Weisbach.

$$H_{rp} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}$$

Onde:

$\lambda$  = Coeficiente de perda de carga

L = Comprimento do tubo

D = Diâmetro do tubo

V = Velocidade média do fluido

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:

É conveniente lembrar que um escoamento pode ser classificado duas formas, turbulento ou laminar. No escoamento laminar há um caminhamento disciplinado das partículas fluidas, seguindo trajetórias regulares, sendo que as trajetórias de duas partículas vizinhas não se cruzam. Já no escoamento turbulento a velocidade num dado ponto varia constantemente em grandeza e direção, com trajetórias irregulares, e podendo uma mesma partícula ora localizar-se próxima do eixo do tubo, ora próxima da parede do tubo.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:

Em geral, o regime de escoamento na condução de fluidos no interior de tubulações é turbulento, exceto em situações especiais, tais como escoamento a baixíssimas vazões e velocidades.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:

$$\text{Como: } \lambda = f\left(\frac{\rho.V.D}{\mu}, \frac{k}{D}\right)$$

ou seja,  $\lambda$  é função do número de Reynolds e da rugosidade relativa ( $k/D$ ), estas informações devem ser levantadas.

Onde:

k= Rugosidade absoluta

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:

Muitas vezes o escoamento não ocorrerá em uma tubulação que apresentam seção circular, desta forma devemos utilizar o diâmetro hidráulico para cálculo do número de Reynolds, da rugosidade relativa e das perdas primárias.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:

$D_h$  = Diâmetro hidráulico

$$D_h = 4 \cdot \frac{A}{P}$$

A = Área da seção transversal.

P = Perímetro da seção.

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:

Valores de rugosidade absoluta (k) tabelados:

MATERIAL	RUGOSIDADE ABSOLUTA (mm)
Aço comercial novo	0,045
Aço laminado novo	0,04 a 0,10
Aço soldado novo	0,05 a 0,10
Aço soldado limpo usado	0,15 a 0,20
Aço soldado moderadamente oxidado	0,4
Aço ou ferro galvanizado	0,15
Ferro forjado	0,05
Ferro fundido novo	0,25 a 0,50
Ferro fundido com leve oxidação	0,30
Ferro fundido velho	3 a 5
Ferro fundido oxidado	1 a 1,5
Cobre, latão, PVC	0,0015

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:

A determinação de  $\lambda$  pode ser realizada de maneira simples através do diagrama de Moody.

Possibilidade de utilização de programas computacionais para se obter o valor de  $\lambda$ .

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

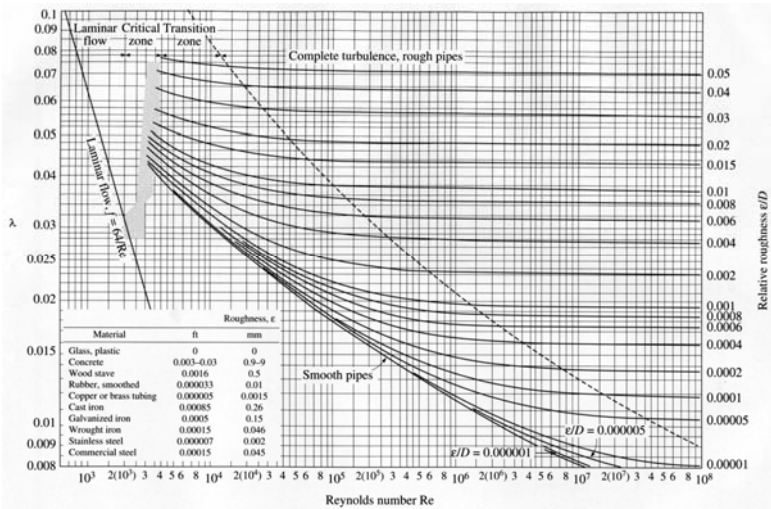
### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:

$\lambda$  para escoamento em regime turbulento onde  $Re > 2000$  :

Existirá a necessidade de calcular a rugosidade específica e utilizar a carta:

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES



## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Carga Distribuída ou Primária:

$\lambda$  para escoamento em regime laminar:

Lembrar também que se  $Re < 2000$  o escoamento é laminar e o coeficiente de atrito independe da rugosidade, sendo:

$$\lambda = 64/Re.$$

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Perda de Carga Localizada ou Secundária:  
Depende das dimensões e do tipo de material.  
Componentes com valores de  $\zeta$  Tabelados.

$$H_{rs} = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

Por exemplo:

Reduções e aberturas – 0,05 a 1

Válvula com 5° de abertura -  $\zeta=0,05$

Te -  $\zeta=1,5$  a 2,0

Curva -  $\zeta=0,1$  a 0,8

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Perda de Carga Localizada ou Secundária:  
Componentes com valores de  $\zeta$  Tabelados.

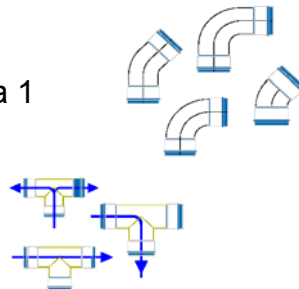
Reduções e expansões – 0,05 a 1

Válvulas –  $\zeta=0,05$  a 0,5

Tês –  $\zeta=1,5$  a 2,0

Curva –  $\zeta=0,1$  a 0,8

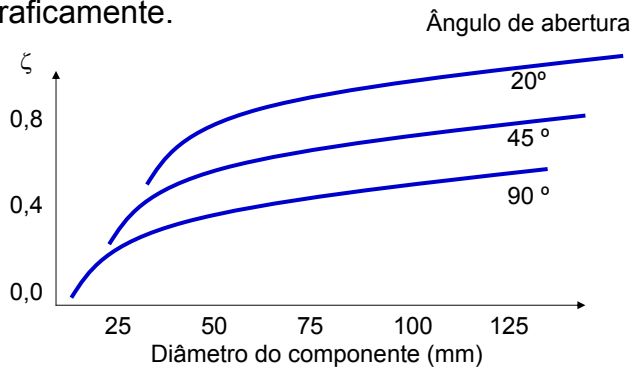
Luvras e junções –  $\zeta=0,1$  a 0,4



## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Perda de Carga Localizada ou Secundária:  
Graficamente.



## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

- Perda de Carga Localizada ou Secundária:  
Muitas vezes as perdas secundárias são calculadas por meio de tabelas fornecidas por fabricantes onde estes indicam as perdas de maneira equivalente dependendo do tipo de elemento.



## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

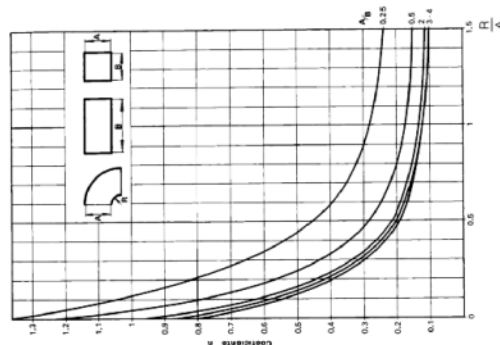
- Perda de Carga Localizada ou Secundária:

Diâmetro da tubulação		25mm	50mm	100mm	150mm
		comprimento equivalente[m]			
Cotovelo		1.5	3	3	9
Cotovelo R=2d		0.3	0.6	0.6	1.8
Cotovelo R=4d		0.4	0.8	0.8	2.4
Peça T		0.5	1	1	2
Peça T de bifurcação		1.5	3	3	9
Válvula globo		5	12	12	36
Válvula borboleta		0.3	0.6	0.6	1.9
Válvula de retenção		2	4	4	12
Peça de redução (DN): 20		0.5	1	1	3.6

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### CÁLCULO DAS PERDAS:

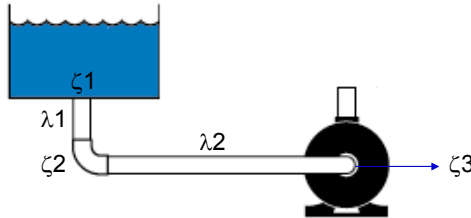
- Perda de Carga Localizada ou Secundária:



## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### EXERCÍCIOS:

- Calcule as perdas que ocorrem em uma tubulação aspiração feita de ferro fundo. Levar em conta os seguintes dados:  $D_a=0,10\text{m}$ ,  $L_1=2,0\text{m}$ ,  $L_2=4,0\text{m}$ ,  $V_a=1,0\text{m/s}$ ,  $\nu=10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ ,  $k=0,1\text{mm}$ ,  $g=9,81\text{m/s}^2$ ,  $\zeta_1=0,5$ ,  $\zeta_2=0,4$ ,  $\zeta_3=0,8$ .



## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### EXERCÍCIOS:

Nesta situação:

$$J_a = H_{r1-2} = H_{rp} + H_{rs}$$

$$H_{r1-2} = \left[ \left( \lambda_1 \frac{L V_a^2}{D 2g} \right) + \left( \lambda_2 \frac{L V_a^2}{D 2g} \right) \right] + \left[ \left( \zeta_1 \frac{V_a^2}{2g} \right) + \left( \zeta_2 \frac{V_a^2}{2g} \right) + \left( \zeta_3 \frac{V_a^2}{2g} \right) \right]$$

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### EXERCÍCIOS:

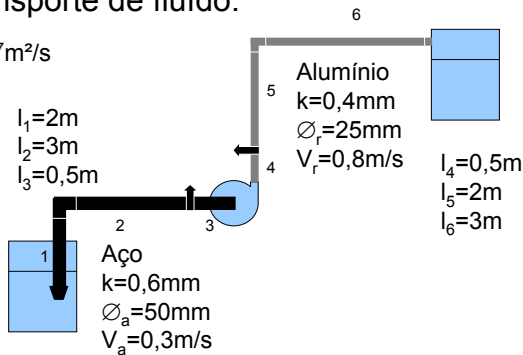
- Calcule as perdas em m que ocorrem em um sistema de transporte de fluido.

$$v = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \xi_{\text{exp}} &= 0,2 \\ \xi_{\text{valv}} &= 0,8 \\ \xi_{\text{cur}} &= 0,3 \\ \xi_{\text{fil}} &= 0,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_1 &= 2\text{m} \\ l_2 &= 3\text{m} \\ l_3 &= 0,5\text{m} \end{aligned}$$

**Aço**  
 $k = 0,6\text{mm}$   
 $\varnothing_a = 50\text{mm}$   
 $V_a = 0,3\text{m/s}$



$$\begin{aligned} \xi_{\text{exp}} &= 0,1 \\ \xi_{\text{cur}} &= 0,2 \\ \xi_{\text{valv}} &= 0,4 \\ \xi_{\text{con}} &= 0,2 \end{aligned}$$

## ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

### EXERCÍCIOS:

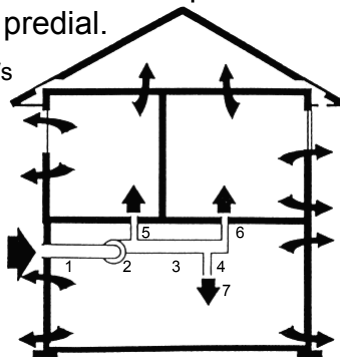
$$1\text{mca} = "1\text{m}" = 9807\text{Pa}$$

- Calcule as perdas em Pa que ocorrem em um sistema de ventilação predial.

$$v = 16,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\begin{aligned} l_1 &= 3\text{m} \\ l_2 &= 0,5\text{m} \\ l_3 &= 2\text{m} \\ l_4 &= 0,5\text{m} \\ l_{5,6,7} &= 1\text{m} \end{aligned}$$

**Aço**  
 $\varnothing_e = 200\text{mm}$   
 $V_e = 0,05\text{m/s}$   
 $k = 0,6\text{mm}$



$$\begin{aligned} \xi_{\text{te}} &= 0,8 \\ \xi_{\text{curva}} &= 0,4 \\ \xi_{\text{exp}} &= 0,6 \end{aligned}$$

**Aço**  
 $\varnothing_{\text{eprinc}} = 180\text{mm}$   
 $\varnothing_{\text{esecund}} = 100\text{mm}$   
 $V_r = 0,1\text{m/s}$   
 $k = 0,6\text{mm}$

# ANÁLISE DE PERDAS EM ESCOAMENTOS DENTRO DE TUBULAÇÕES

## EXERCÍCIOS:

- Calcule as perdas em Pa que ocorrem em um sistema de aspiração de resíduos.

$$v=16,5 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$$

Aço

$$\varnothing_e=80\text{mm}$$

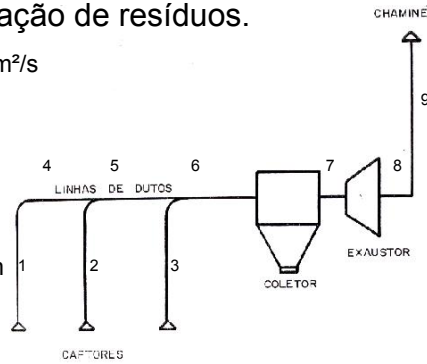
$$V_e=0,8\text{m/s}$$

$$k=0,4\text{mm}$$

$$L_{1,2,3}=3\text{m}$$

$$L_{4,5,6,7,8}=0,5\text{m}$$

$$L_9=4\text{m}$$



$$\xi_{\text{capt}}=0,4$$

$$\xi_{\text{curv}}=0,6$$

$$\xi_{\text{colet}}=1,2$$

$$\xi_{\text{exaust}}=0,3$$

$$\xi_{\text{cha}}=0,2$$

Aço

$$\varnothing_e=200\text{mm}$$

$$V_e=0,3\text{m/s}$$

$$k=0,4\text{mm}$$