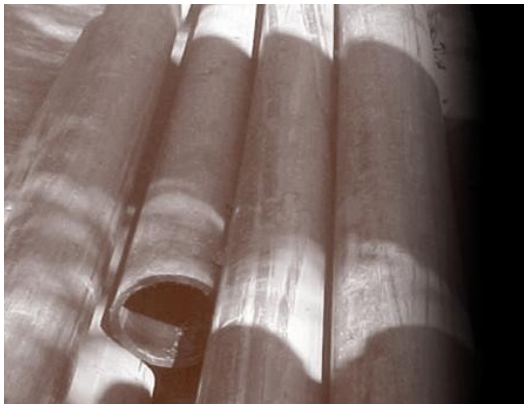


# HIDRÁULICA DE CONDUTOS FORÇADOS

**Profa. Cali Laguna Achon**
**email: caliachon@bol.com.br**

2014

# Hidráulica 1 – SHS0409

# HIDRÁULICA DOS CONDUTOS FORÇADOS

## PERDA DE CARGA LOCALIZADA

## (AULA 6)

**CONTEÚDO AULA 6**

# 1. Perda de carga localizada

- Introduação (3.1)
- Expressão geral (3.2)
- Coeficiente K para singularidades (3.3)
- Análise de tubulações (3.4)
- Influência relativa das perdas de carga localizadas (3.5)

# 2. Aplicação

- **Livro (Ex. 3.1 e 3.7)**

# INTRODUÇÃO

- **Conduto forçado = tubulação + singularidades**
  - Tubulação → perdas de carga lineares.
  - Singularidades → registros, válvulas, curvas, derivações, conexões, bomba, turbina, etc. → perdas de carga localizadas (ou singulares).

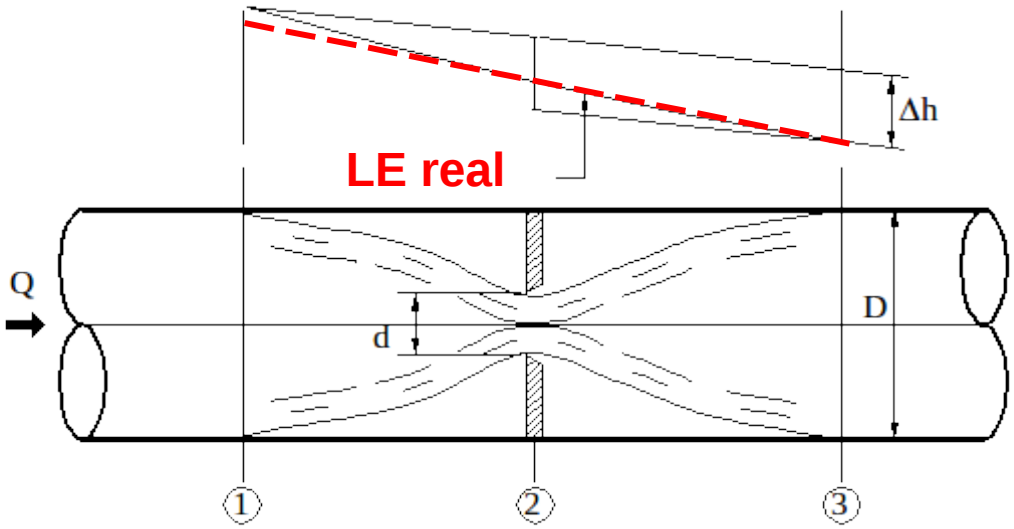
Porque ocorrem:

- alterações na direção do fluxo,
- aceleração ou desaceleração

→ provocam aumentam de turbulência → perda de energia localmente.

Tratamento analítico muito complexo → campo experimental.

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS




- **Diafragma ou estrangulamento:**
  - **Trecho 1-2** → montante → convergência → aumenta V → aumenta turbulência
  - **Trecho 2-3** jusante →divergência → desaceleração → V diminuiu → formação de vórtices → perda de energia por calor.

Numa curta extensão há uma perda intensa de energia → na realidade é contínua → por **simplicidade** considerada como uma **perda brusca → localizada ou singular**.

**Cada acessório apresenta sua linha de energia característica.**

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

Expressão geral das perdas localizadas

- As perdas localizadas podem ser calculadas por:

$$\Delta h = K \frac{V^2}{2g} \ (\mathrm{m})$$

→ ou seja, é uma

**parcela da energia cinética**

O coeficiente K é um adimensional que depende:

- Da geometria da singularidade.
- Do número de Reynolds.
- Da rugosidade do material.
- Da distribuição de vazões → casos de bifurcações

Normalmente, V se refe à seção de menor diâmetro (maior velocidade)

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

O Coeficiente K determinado experimentalmente

- Para Rey elevados (>~ $6.10^4$ → K é cte.);

- Curva experimental de cotovelo 45º de 1½" de diâmetro de ferro galvanizado (Laboratório EESC/USP).

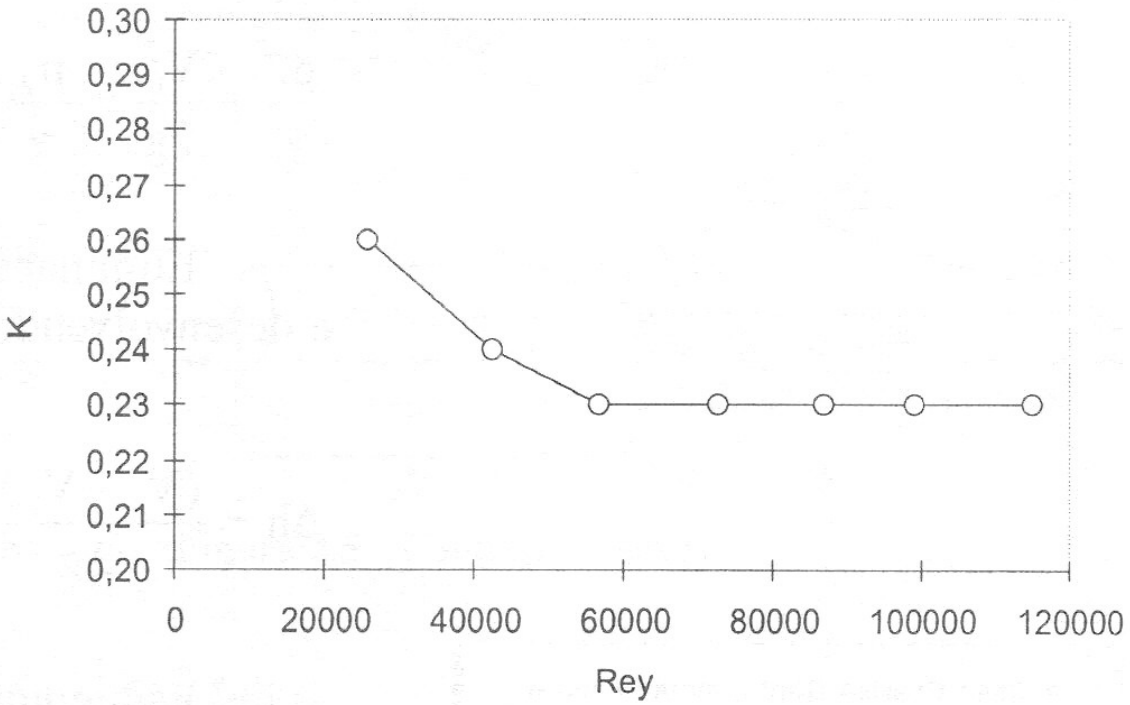
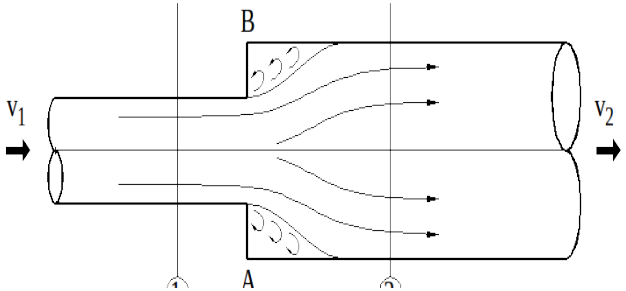



Figura: Curva K x Reynolds para um cotovelo de 45º (Fonte: Porto,1998).

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

Valores do Coeficiente K para algumas singularidades

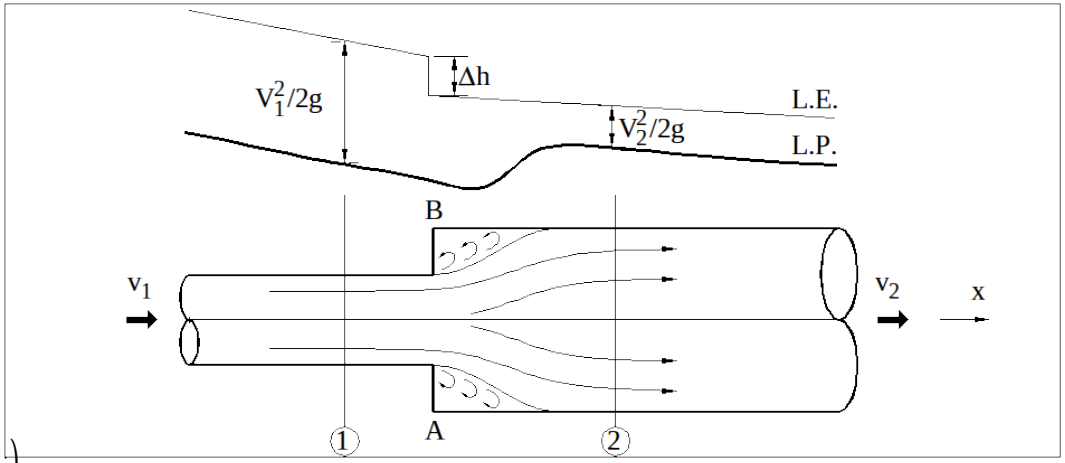
- **Alargamento brusco** → desaceleração → redemoinhos → perda por calor.




Tratamento analítico pelo teorema da conservação da quantidade de movimento e teorema de Bernoulli (conservação da energia).

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

## Alargamento brusco




$$\sum F_x = \rho Q(V_2 - V_1)$$

soma das forças na direção do escoamento = variação da quantidade de movimento no vol. de controle

$$p_1 A_1 + p_1(A_2 - A_1) - p_2 A_2 = \rho Q(V_2 - V_1)$$

Teorema de Bernoulli entre 1 e 2 (conservação da energia) :

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h$$

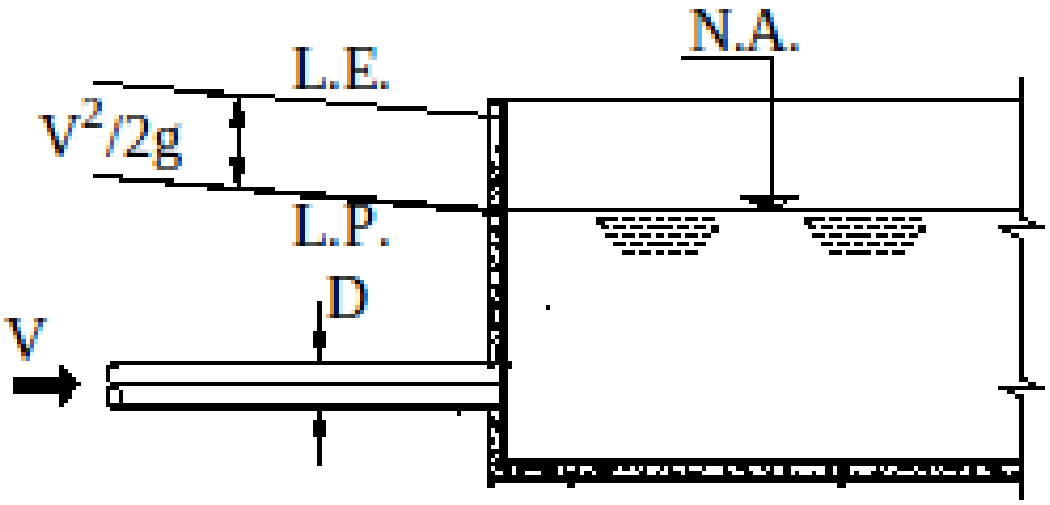
manipulando as duas equações acima fica :

$$\Delta h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \frac{V_1^2}{2g}\left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)\right]^2 = K\frac{V_1^2}{2g} \therefore K = \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)\right]^2 \quad \text{ou} \quad K = \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2$$

**Equação de Borda-Carnot**

# Valores do Coeficiente K para algumas singularidades

- Entrada de reservatório → velocidade é nula →




- Entrada de reservatório → $A_2$ →infinito

→ K=1→ perda total da carga ciné

amento = variação da quanti
(1)
nservação da energia) :

na fica :

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

## Valores do Coeficiente K para algumas singularidades

- **Contração brusca → contração → aceleração → desaceleração → análogo ao caso do alargamento**

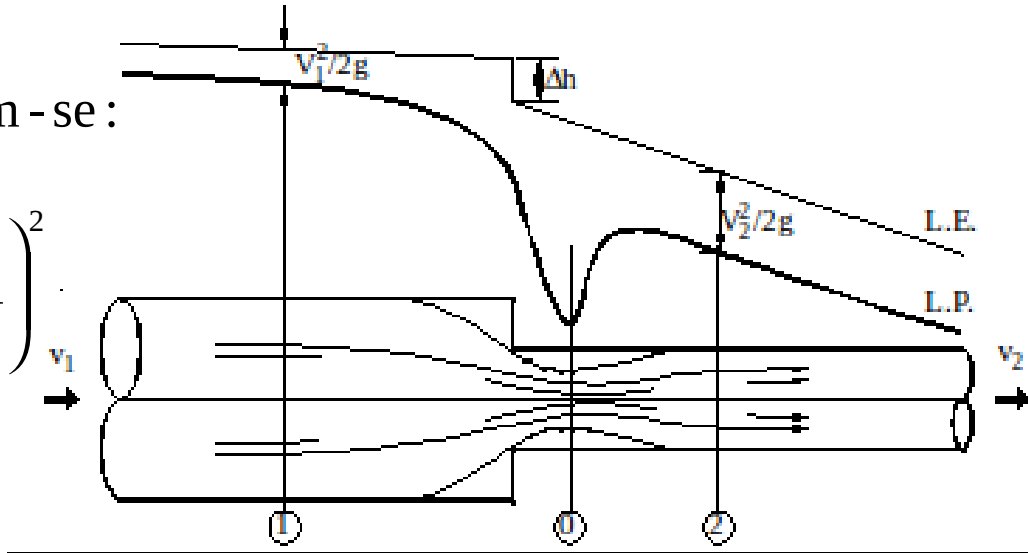
As perdas entre 1 e 0 (aceleração) <<<< entre 0 e 2 → vamos desprezar

As perdas entre 0 e 2 correspondem ao caso de estreitamento brusco, portanto :

$$\Delta h = \frac{(V_0 - V_2)^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g}\left[\left(\frac{A_2}{A_0}\right) - 1\right]^2$$

com coeficiente de contração $C_c = \frac{A_0}{A_2}$ tem-se :

$$\Delta h = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = K\frac{V_2^2}{2g} \therefore K = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2$$



# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

## Contração brusca

- Tabela → Valores de K para reduções bruscas:

| $A_2/A_1$ | 0 | 0.1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K | 0,50 | 0,46 | 0,41 | 0,36 | 0,30 | 0,24 | 0,18 | 0,12 | 0,06 | 0,02 | 0,0 |

**A1: área montante**

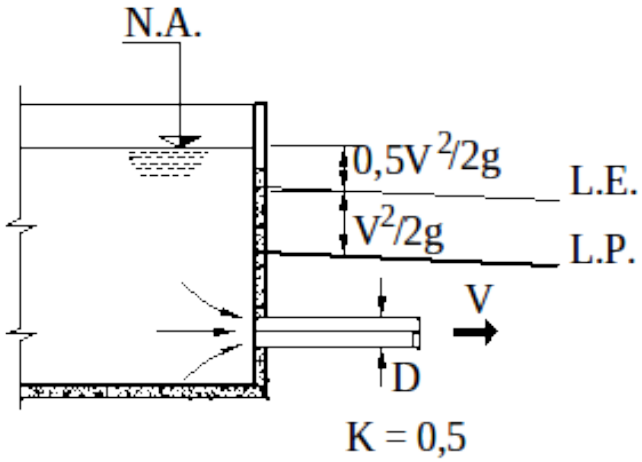
**A2: área de jusante**

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

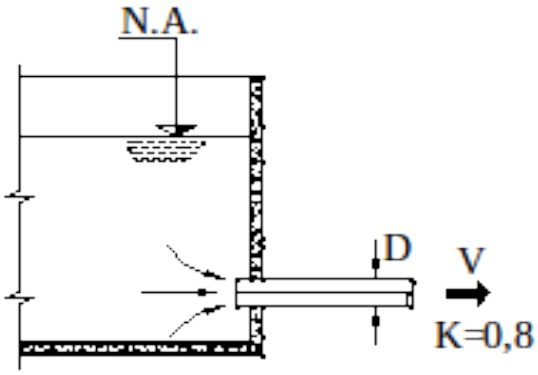
- **Outras formas de entrada:**

**A1: área montante**

**A2: área de jusante**



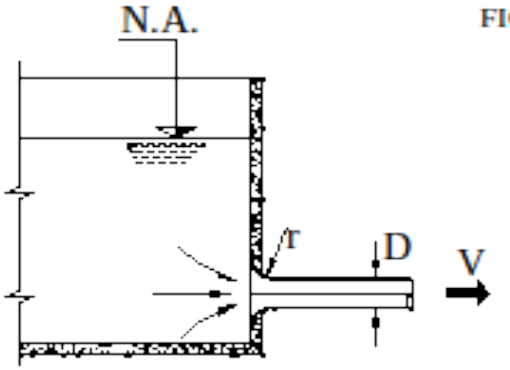

Quando $A_2/A_1 \rightarrow 0 \rightarrow$ A1>>A2,
**saída de reservatório** em **canto "vivo" ou normal** → K = 0,5




**reentrante**
**ou**
**Com borda**

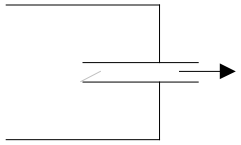
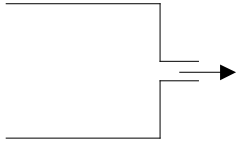
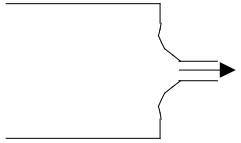
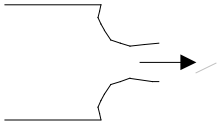
| r/D | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0,25 | 0,17 | 0,08 | 0,05 | 0,04 |

FIG3,6d



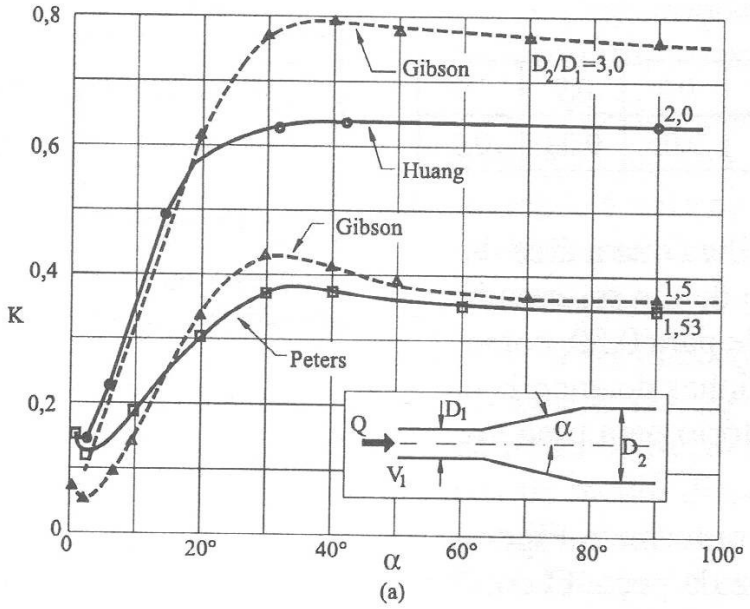

**arredondada**

# PERDA DE CARGA
## (Perda de Carga Localizada)

| Tipo de saída | | K |
|---|---|---|
| Reentrante |  | 0,78 |
| Bordas retas |  | 0,5 |
| Bordas arredondadas |  | 0,23 |
| Perfil fluidodinâmico |  | 0,05 |

# Valores do Coeficiente K para algumas singularidades

- Alargamentos e estreitamentos graduais:
- Turbulência + atrito → K depende do ângulo de abertura ou fechamento α:



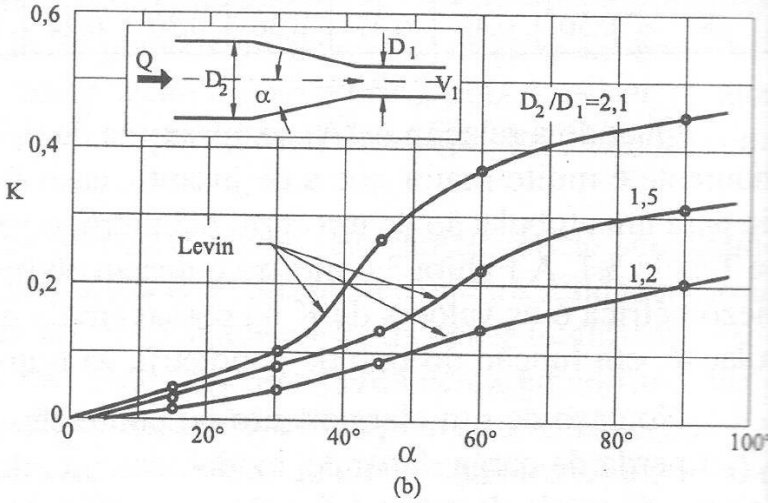



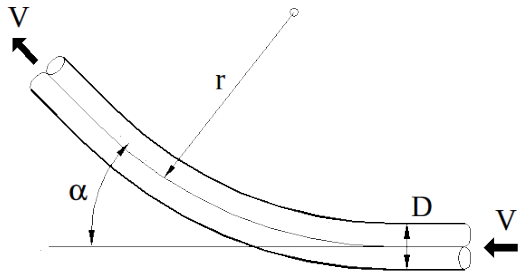

**Figura 3.7** Coeficientes de perdas localizadas em (a) expansão e (b) contração, conforme (6).

- Cotovelos, curvas, registros e válvulas

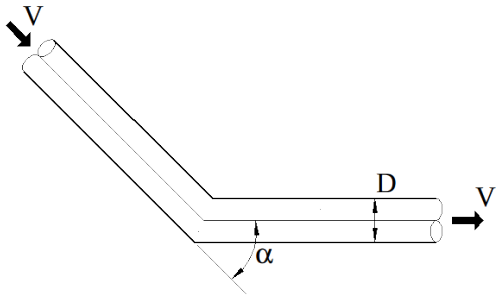
# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

- Curvas e cotovelos: mudanças de direção do escoamento → inércia → mudanças no perfil de velocidade e na distribuição de pressão → movimento espiralado das partículas.

- Muita disparidade nos dados experimentais.




$$\text{Curva} \rightarrow K = \left[ 0{,}13 + 0{,}16 \left( \frac{r}{D} \right)^{-3{,}5} \right] \sqrt{\frac{\alpha}{180°}}$$




$$\text{Cotovelo} \rightarrow K = 67{,}6.10^{-6}.\alpha^{2{,}17}$$

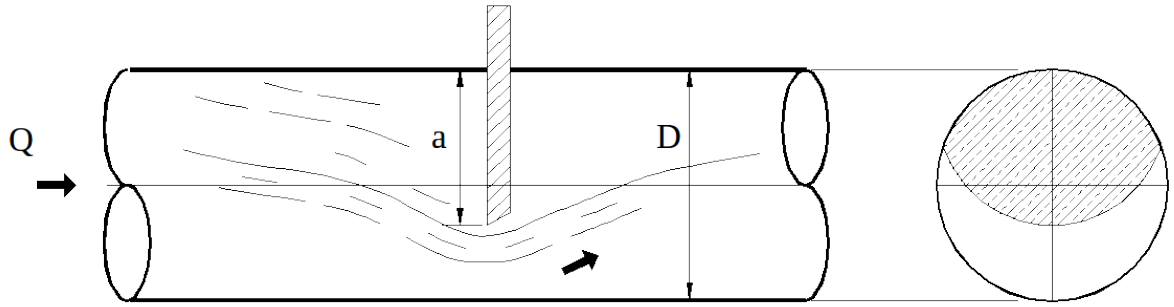
$\alpha$ em graus nas duas equações

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

- **Registros e válvulas → regular a vazão ou interromper o fluxo**
  - Totalmente abertas → provocam pouca perda de carga
  - Parcialmente abertas → causam perdas significativas

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

- **Registro de gaveta:**

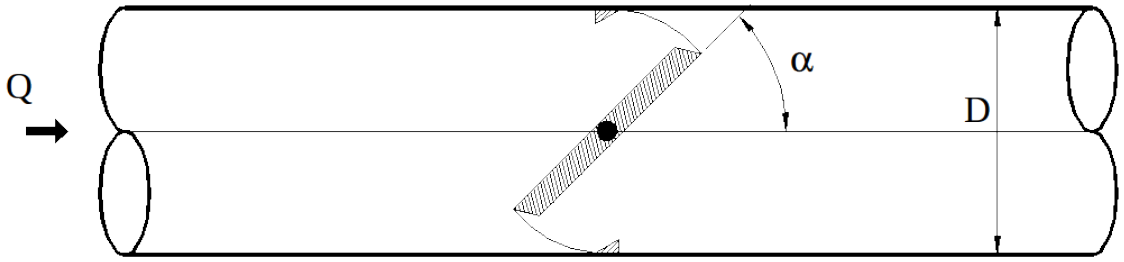



| a/D | 0 | 1/4 | 3/8 | 1/2 | 5/8 | 3/4 | 7/8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K | 0,15 | 0,26 | 0,81 | 2,06 | 5,52 | 17,0 | 97,8 |

Onde **a** é o grau de abertura

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

- **Válvula borboleta:**




| $\alpha^o$ | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K | 0,15 | 0,24 | 0,52 | 0,90 | 1,54 | 2,51 | 3,91 | 6,22 | 10,8 | 18,7 | 32,6 |

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

- Valores “médios” de K para alguns acessórios:

**Tabela: Valores do Coeficiente K para diversos acessórios**

| ACESSÓRIO | K | ACESSÓRIO | K |
|---|---|---|---|
| Cotovelo de 90º raio curto | 0,9 | Válvula de gaveta aberta | 0,2 |
| Cotovelo de 90º raio longo | 0,6 | Válvula de ângulo aberta | 5 |
| Cotovelo de 45º | 0,4 | Válvula de Globo aberta | 10 |
| Curva 90º , r/D = 1 | 0,4 | Válvula de pé com crivo | 10 |
| Curva de 45º | 0,2 | Válvula de retenção | 3 |
| Tê, passagem direta | 0,9 | Curva de retorno, $\alpha$=180º | 2,2 |
| Tê, saída lateral | 2,0 | Válvula de bóia | 6 |

Fonte: Porto, R.M. (1998)

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

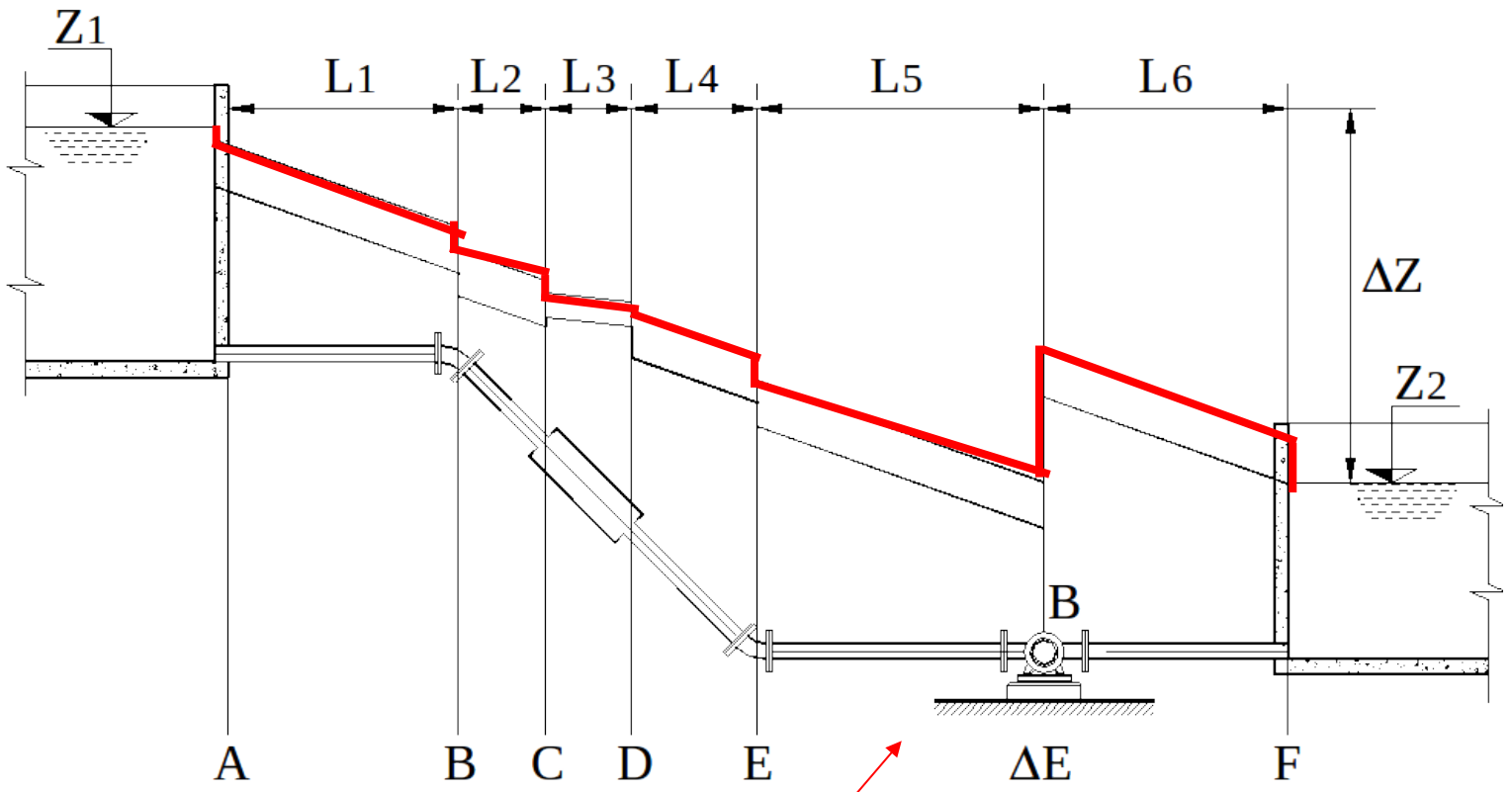
## Análise de tubulações sob pressão

- Dada uma tubulação (materiais e diâmetros), suas singularidades (conexões, acessórios, etc.) e as condições de contorno energéticas (gravidade ou bombeamento), o que se deseja é calcular a vazão pela tubulação.

- Para isso é necessário calcular:
  - As perdas de carga por atrito (distribuídas)
  - As perdas de carga localizadas (singularidades)

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

## Análise de tubulações sob pressão




**Z=energia disponível**

bomba (ou turbina)

$$\text{Balanço energético} \rightarrow \Delta Z = \sum_i J_i L_i + \sum_j \Delta h_j \pm \sum_k \Delta E_k$$

turbina

distribuída

localizada

bomba

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

## Análise de tubulações sob pressão

- **Problema geral:**

1. As superfícies dos dois reservatórios são os únicos pontos onde $p = p_{atm}$. $\Delta Z = Z1 - Z2$ → energia disponível por gravidade.
2. Tubulação com vários trechos $L_i$ com diâmetros diferentes (ou não). Os pontos A, B, C, D, E e F são singularidades (curvas, etc.).
3. Cada trecho (i) causa uma perda de carga distribuída ($J_i.L_i$) e cada singularidade (j) causa uma perda localizada ($K.V^2/2g$).
4. No sistema, podem ser inseridos elementos ($E_k$) que fornecem energia extra (bombas) ou retiram energia (turbinas) do sistema.

$$\text{Balanço energético} \rightarrow \Delta Z = \sum_i J_i L_i + \sum_j \Delta h_j \pm \sum_k \Delta E_k$$

distribuída — localizada — turbina — bomba

# PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

- No caso de não haver bomba ou turbina → toda a energia $\Delta Z$ é consumida pelas perdas de carga (distribuídas e localizadas):

$$\Delta Z = \sum_i f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} + \sum_j K_j \frac{V_j^2}{2g}$$

# Influência das perdas localizadas

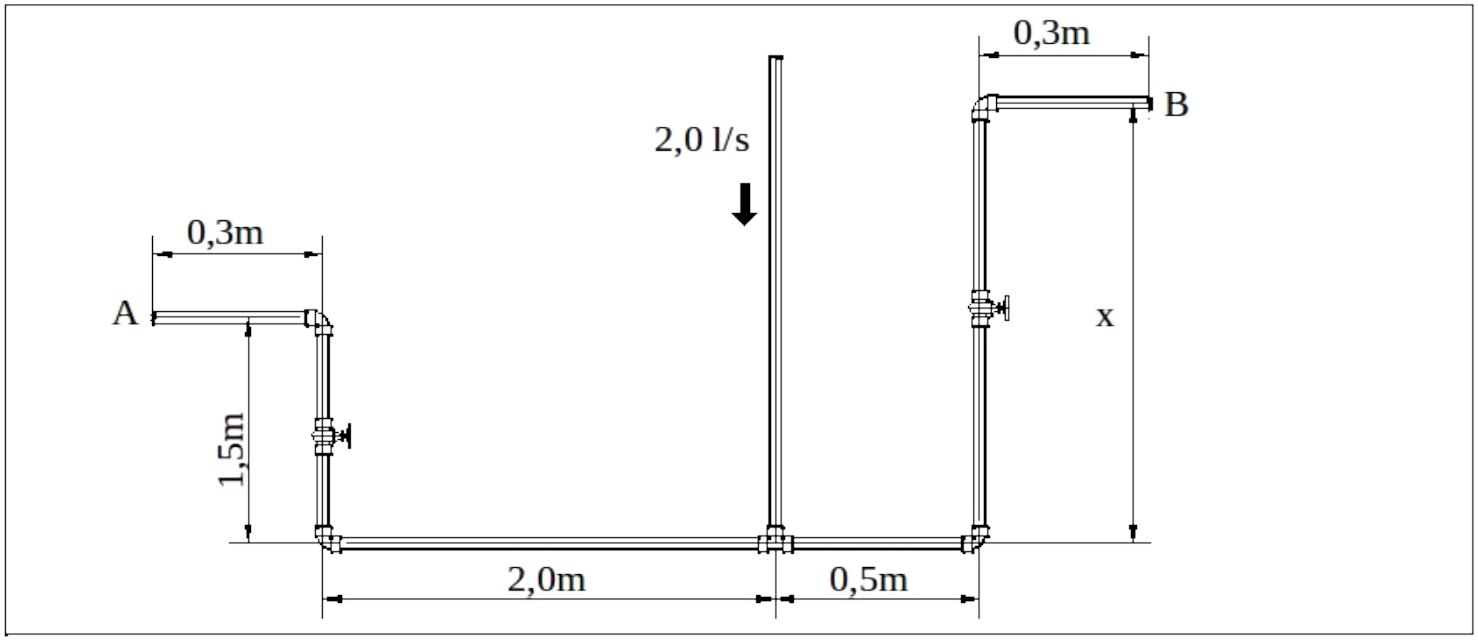
- Sucção de bombas: trecho curto e curvas acentuadas → não pode ser desprezada
- Instalações hidráulicas de edifícios → muitos trechos curtos e muitas singularidades → não pode ser desprezada

- Longas redes de distribuição com grandes diâmetros → perdas por atrito >>> perdas localizadas → **pode ser desprezada** (em certos casos):
  - Perdas localizadas < 5% das perdas distribuídas
  - Tubulação com comprimento L > 1000 vezes o diâmetro D ou **L/D >1000**

# Aplicação

# Exercício 3.7 - Livro Porto (1998)

A instalação hidráulica predial da Figura está em um plano vertical e é toda em aço galvanizado novo com diâmetro de 1”, e alimentada por uma vazão de 2.,0 L/s de água. Os cotovelos têm raio curto e os registros de gaveta. Determine qual deve ser o comprimento x para que as vazões que saem pelas extremidades A e B sejam iguais.

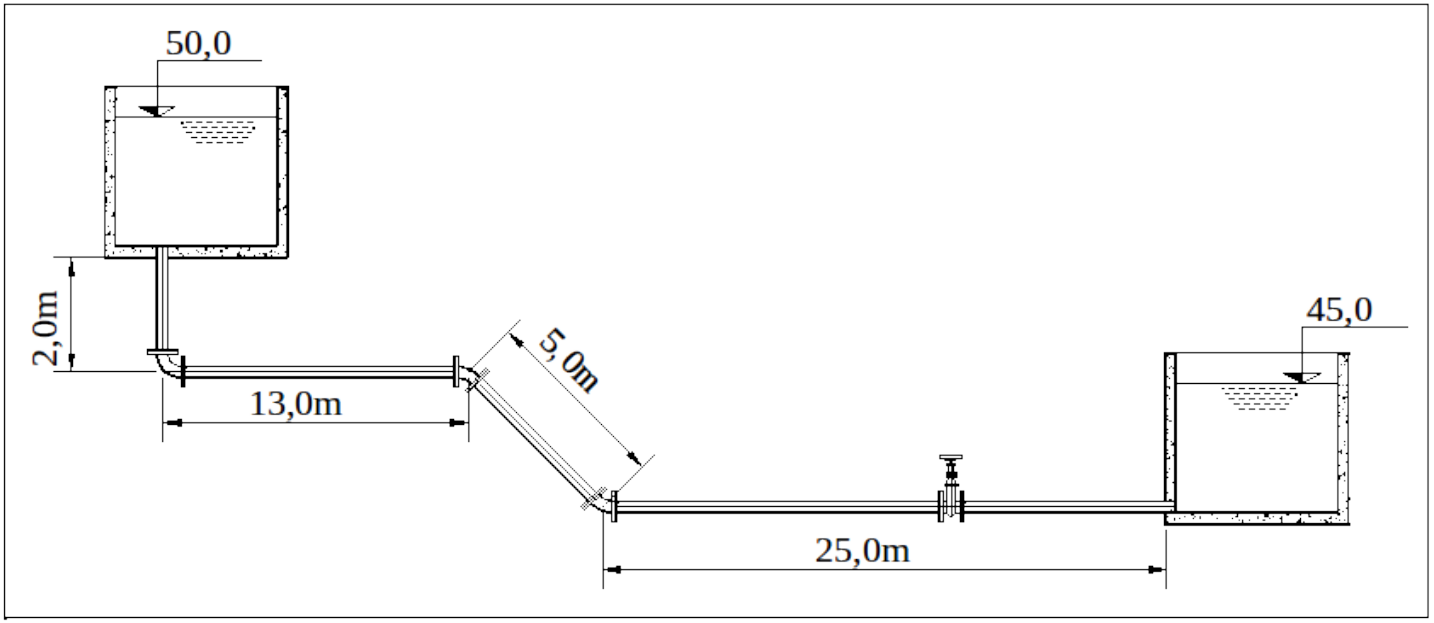


# Exercício 3.1 - Livro Porto (1998)

A instalação mostrada na Figura tem diâmetro 50mm em fero fundido com leve oxidação. Os coeficientes de perdas de carga localizadas são: entrada e saída da tubulação K = 1,0, cotovelo 90º, curvas 45º K=0,2 e registro de ângulo, aberto, K=5,0. Determine, usando a equação de Darcy-Weisbach:

a) a vazão transportada;

b) Querendo-se reduzir a vazão para 1,96 L/s, pelo fechamento parcial do registro, calcule qual deve ser a perda de de carga localizada no registro e seu comprimento equivalente.



- Desafio (Aula 6)

Livro Porto (1998)

- Exercícios: 3.2 e 3.6

- Obrigada!