Universidade Regional do Cariri – URCA

Pró – Reitoria de Ensino de Graduação
Coordenação da Construção Civil
Disciplina: Hidráulica Aplicada

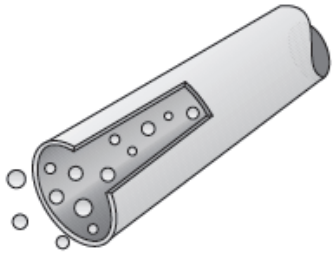
Perda de carga linear em condutos forçados

Renato de Oliveira Fernandes
Professor Assistente
Dep. de Construção Civil/URCA
renatodeof@gmail.com

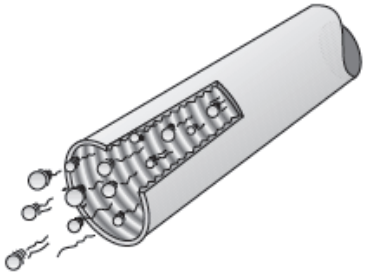
Introdução

- Sempre que um líquido escoa no interior de um tubo de um ponto para outro, haverá uma certa perda de energia denominada perda de pressão ou perda de carga
- Esta perda de energia é devida ao atrito com as paredes do tubo e devida à viscosidade do líquido em escoamento.

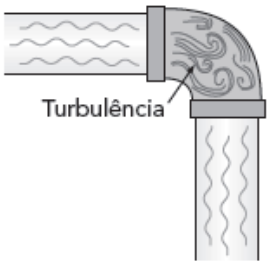
Figura 1.42 Tubo liso, tubo rugoso e perda de carga localizada.



Tubo liso
(Pequenos atritos e choques)
< perda de carga

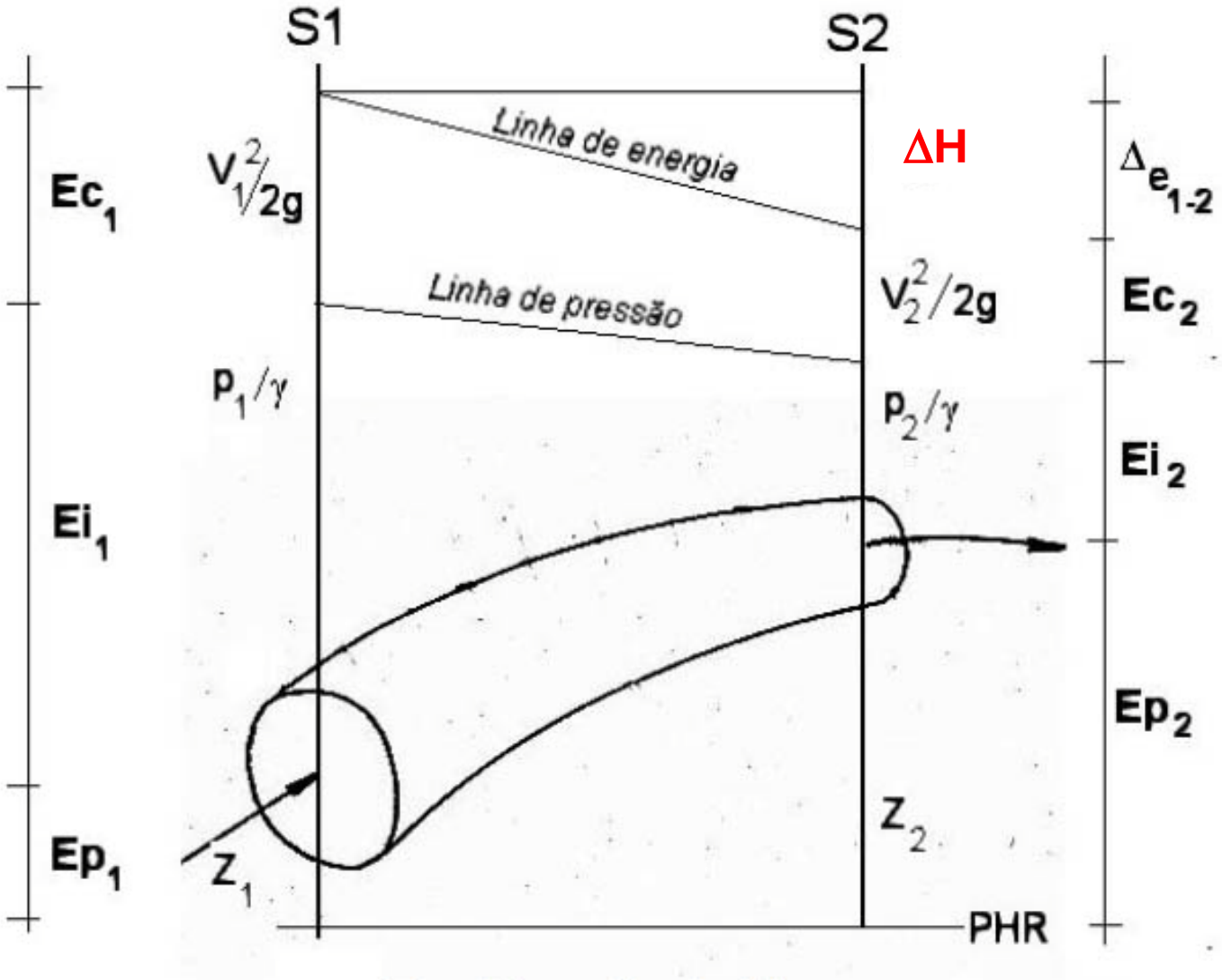


Tubo rugoso
(Grandes atritos e choques)
> perda de carga



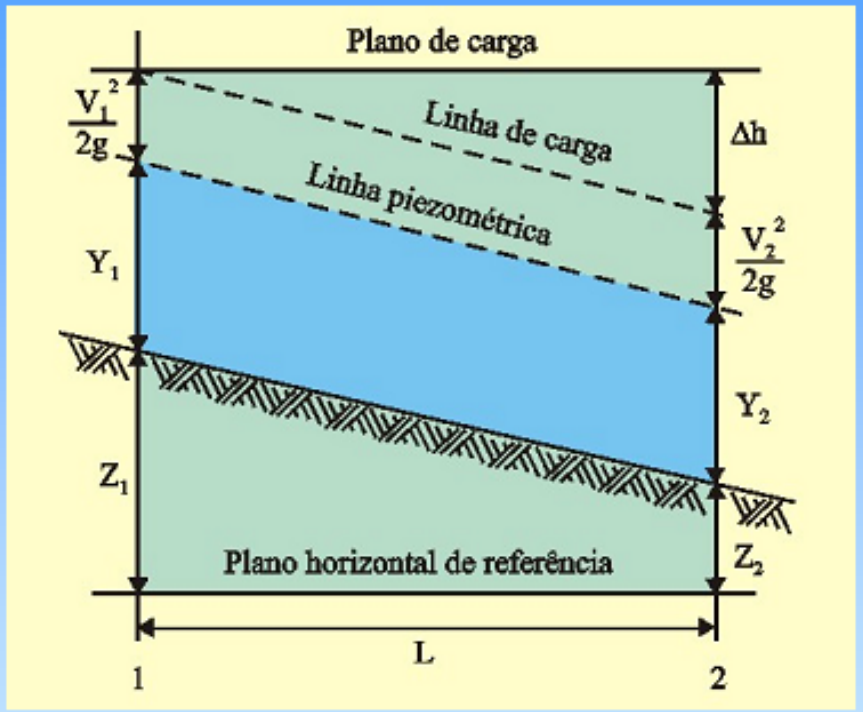
Perda de carga localizada
(Conexão)

Fonte: Mecânica dos Fluidos – Sylvio Reynaldo Bistafa

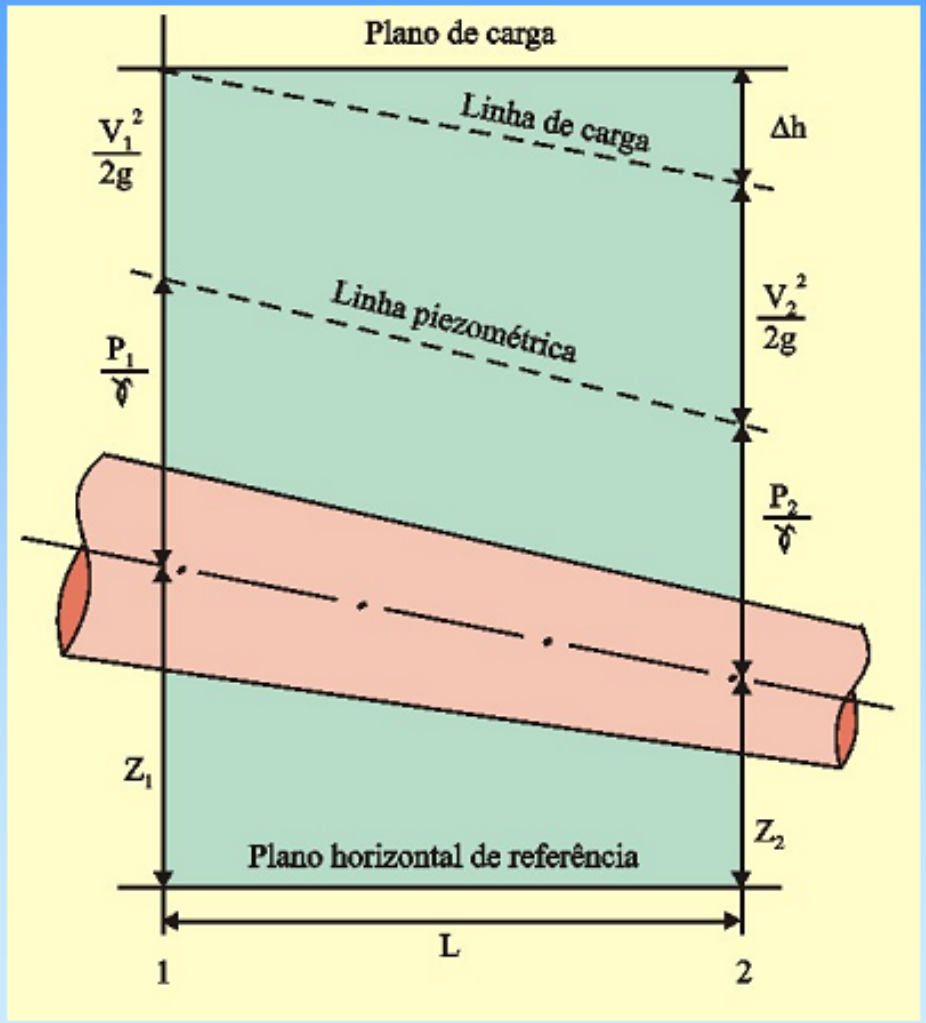


Ec= Energia cinética;
Ei= Energia interna ou de pressão;
Ep= Energia potencial
E=Ec+Ei+Ep.

Escoamento em conduto livre

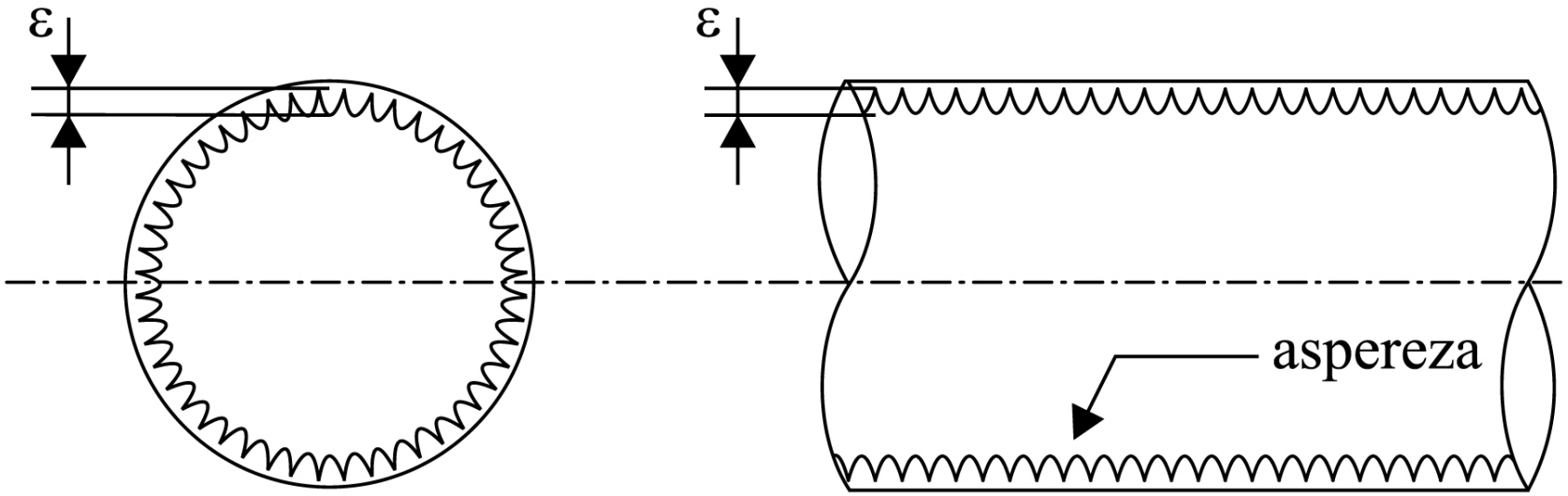


Escoamento em conduto forçado



Rugosidade absoluta

- Os condutos apresentam asperezas (rugosidade) nas paredes internas que influem na perda de carga dos escoamentos



Valores de rugosidade absoluta (ε)

Material	ε (mm) rugosidade absoluta
Aço comercial novo	0,045
Aço soldado novo	0,05 a 0,10
Ferro fundido novo	0,25 a 0,50
Ferro fundido velho	3 a 5
Cimento amianto novo	0,025
Concreto com acabamento normal	1 a 3
Cobre, latão, PVC e plásticos em geral	0,0015 a 0,010

Perdas de carga linear (distribuída)

- Equação de Darcy-Weissbach (fórmula universal de perda de carga) - (1845)

$$\Delta H = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2 * g} = f \frac{8 * L * Q^2}{\pi^2 * D^5 * g} = 0{,}0827 * \frac{f * L * Q^2}{D^5}$$

f - chamado de fator de atrito

L – comprimento analisado da tubulação (m)

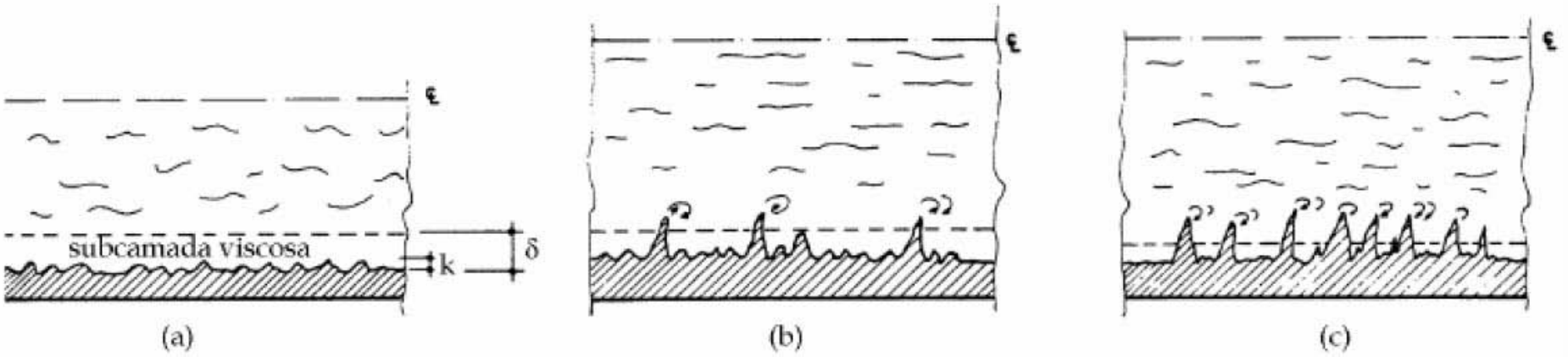
V – velocidade média no tubo (m/s)

D – diâmetro do tubo (m)

Q – vazão que passa na tubo (m^3/s)

- Como determinar se o escoamento é laminar, de transição ou turbulento?
  - O cientista Osborne Reynolds nos respondeu essa pergunta!

Subdivisão do regime turbulento



- Regime turbulento hidraulicamente (a) liso, (b) transição e (c) turbulência plena
- f → (Re, ε/D)
- f é um valor empírico (obtido experimentalmente)

Fator de atrito (f)

- **Escoamento laminar**
- O fator de atrito para escoamento laminar é determinado pela equação de **Hagen-Poiseuille.**

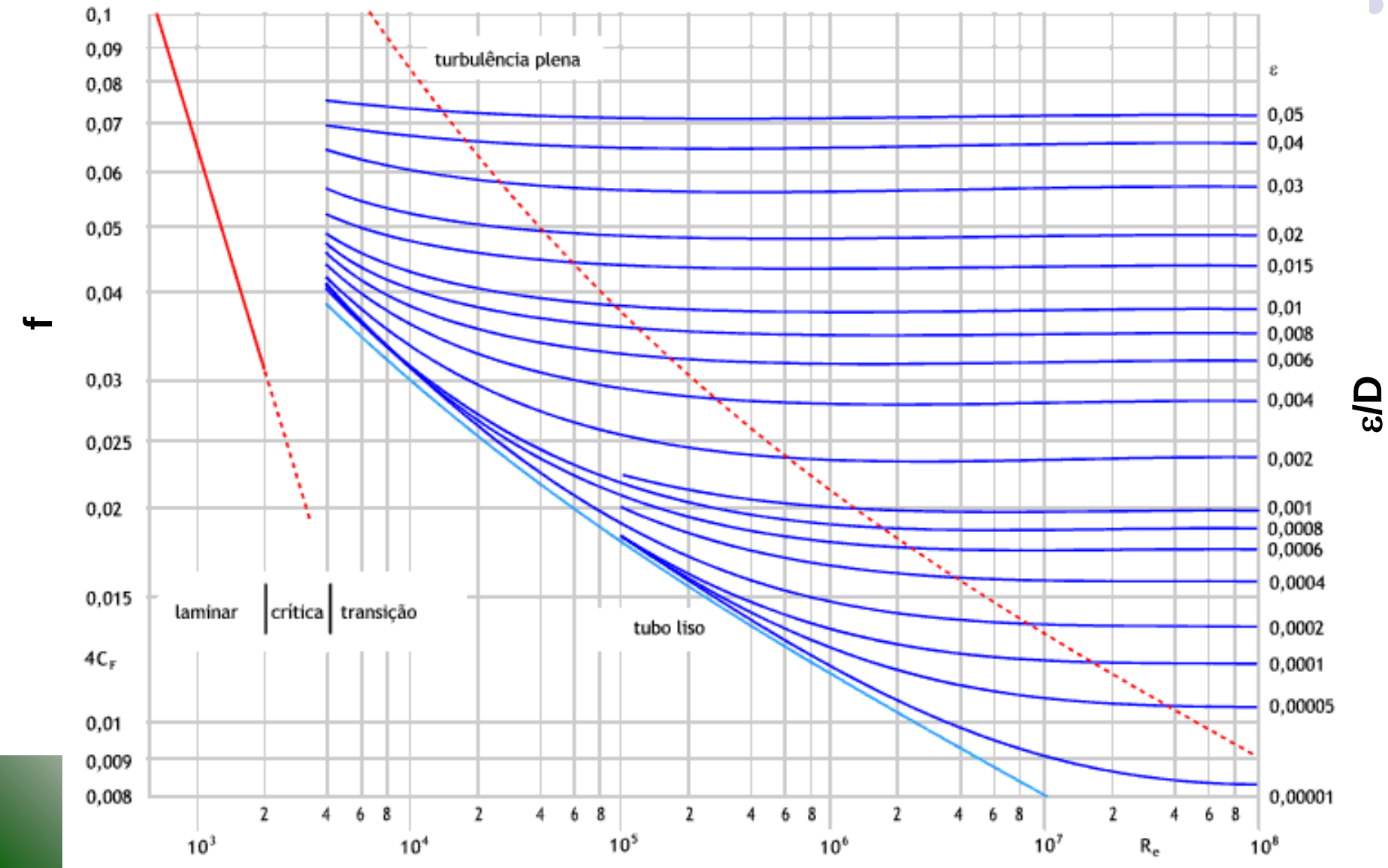
$$f = 64/Re$$

Fator de atrito (f)

- Em 1939 **Colebrook-White** propuseram a seguinte equação para determinação do fator de atrito f em escoamento turbulento hidraulicamente liso, transição e turbulência plena

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left[\frac{\varepsilon}{3{,}71D} + \frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right]$$

Diagrama de Moody (1944)



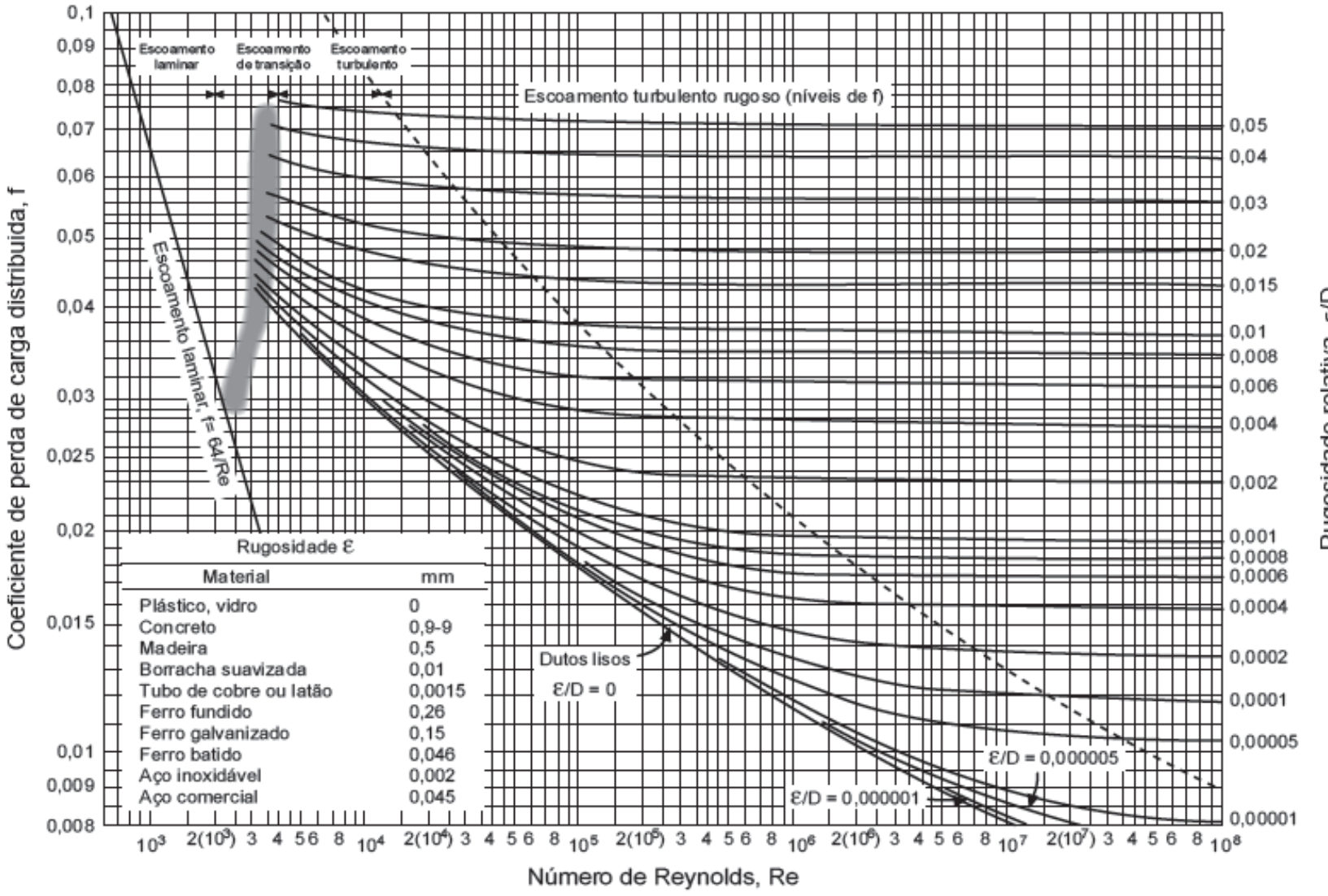


FIGURA 6.2 Diagrama de Moody-Rouse com destaque de rugosidades de materiais utilizados na fabricação de dutos

- A própria equação de **Colebrook-White**, apesar de ser implícita, é hoje em dia mais conveniente do que o gráfico, porque os computadores permitem obter diretamente esse coeficiente

Fator de atrito (f)

- Devido a dificuldade de se determinar o fator de atrito analiticamente a partir da equação de Colebrook-White, Swamee (1993) propôs a seguinte equação.

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{\mathrm{Re}} \right)^{8} + 9.5 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3{,}7D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}} \right) - \left(\frac{2500}{\mathrm{Re}} \right)^{6} \right]^{-16} \right\}^{0.125}$$

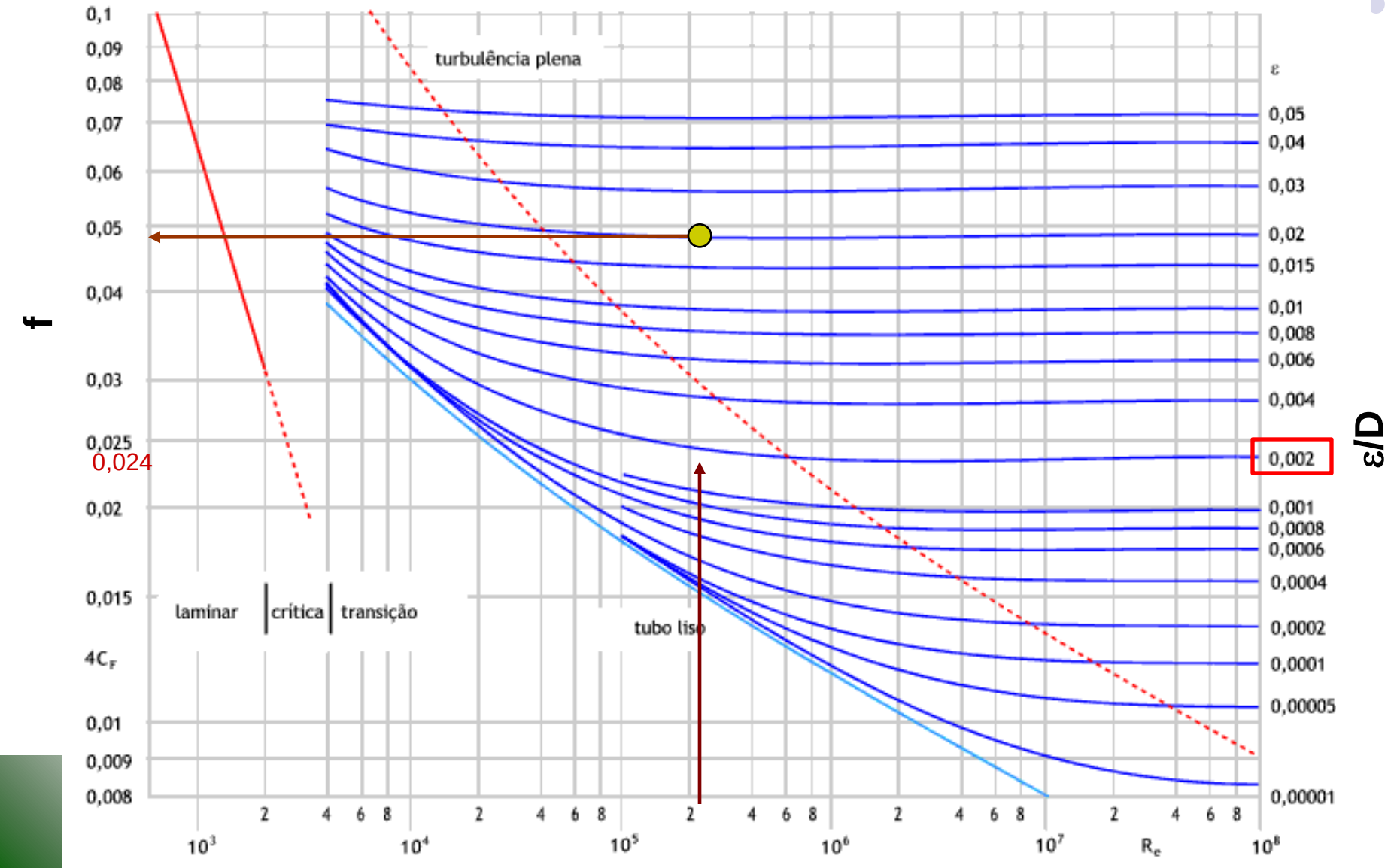
Fator de atrito (f)

- Vantagem da equação de Swamee (1993):
  - Reproduz o diagrama de Moody
  - É válida para todos os regimes de escoamentos

Exemplo 1

- Em um ensaio em uma adutora de ferro fundido com leve oxidação com 6” de diâmetro na qual a vazão era de 26,5 L/s foi medido a pressão em dois pontos A e B, distantes de 1017 m onde obteve-se valores de $68{,}6.10^4$ N/m^2 e $20{,}6.10^4$ N/m^2 respectivamente. Considerando que a diferença de cota entre A e B era de 30m e sendo a cota de A mais baixa em relação a B.
  - Determine: a velocidade da água na tubulação, a cota piezométrica em A e B, o sentido de escoamento, o regime desse escoamento quanto a trajetória e a perda de carga no trecho A para B. Determinar a rugosidade média absoluta da adutora e o fator de atrito f.

Diagrama de Moody (1944)



Fórmulas empíricas

- **Hazen-Williams**

$$\Delta H = 10{,}65 \frac{L}{C^{1{,}85} D^{4{,}87}} Q^{1{,}85}$$

  - **Q – vazão (m^3/s)**
  - **D – diâmetro (m)**
  - **C – coeficiente de rugosidade ($m^{0{,}367}/s$)**

Valores de C

Material	C
Ferro fundido novo	130
Ferro fundido usado	90
Ferro fundido, após 15-20 anos de uso	100
Concreto, bom acabamento	130
Tubos de PVC	150

- **Fair-Whiple-Hsiao**
  - Material: PVC com água fria

$$\Delta H = 0{,}0008695 . Q^{1,75} . D^{-4,75} . L$$

  - Material: aço galvanizado novo com água fria

$$\Delta H = 0{,}002021 . Q^{1,88} . D^{-4,88} . L$$

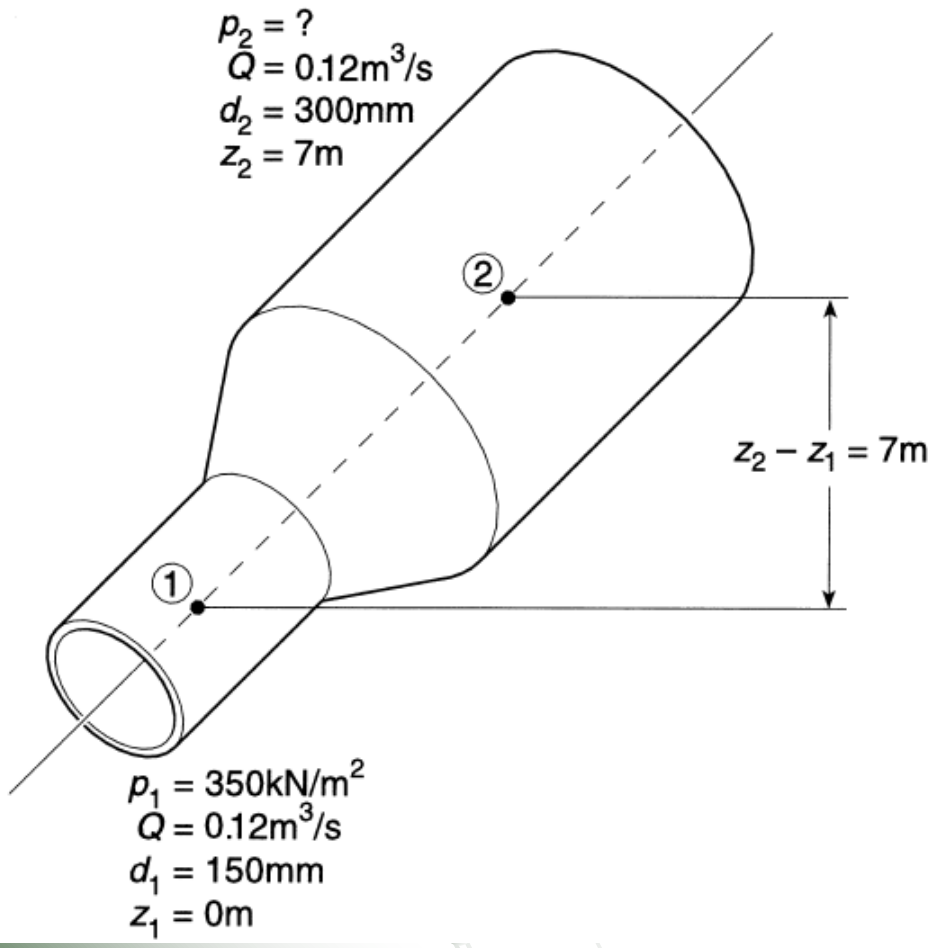
Exemplo 2

- Em uma tubulação horizontal de diâmetro igual a 150 mm, de ferro fundido em uso com cimento centrifugado, foi instalada em uma seção A, uma mangueira plástica (piezômetro) e o nível da água na mangueira alcançou a altura de 4,20 m. Em uma seção B, 120 m à jusante de A, o nível d'água em outro piezômetro alcançou a altura de 2,40 m. Determine a vazão.

Exemplo 3

- A ligação entre dois reservatório, mantidos em níveis constantes, é feita por duas tubulações em paralelo. A primeira com 1500 m de comprimento, 300 mm de diâmetro, com fator de atrito f=0,032 transporta uma vazão de 0,056 m^3/s de água. Determine a vazão transportada pela segunda tubulação de, com 3000 m de comprimento, 600 mm de diâmetro, e fator de atrito f=0,024.

Exemplo 4

- Determine o diâmetro de uma adutora,por gravidade,de 850 m de comprimento,ligando dois reservatório mantidos em níveis constantes,com diferença de cotas de 17,5 m,para transporta uma vazão de 30 L/s.considere o material da tubulação de aço galvanizado com costura novo.

Qual o valor da pressão no ponto 2 (p_2)