



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



ENGENHARIA FÍSICA

Fenômenos de Transporte - A

Prof. Dr. Sérgio R. Montoro

sergio.montoro@usp.br



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



AULA 10

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

CÁLCULO DA PERDA DE CARGA

A determinação da altura manométrica para se entrar nos catálogos de fabricantes com o par vazão volumétrica e altura manométrica e escolher o tipo de bomba, requer o cálculo da perda de carga, ou melhor, da energia que o líquido irá despendar ao passar pelo encanamento.

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

CÁLCULO DA PERDA DE CARGA

A perda de carga, ou energia, resulta do atrito interno do líquido, isto é, da sua viscosidade, da resistência oferecida pelas paredes em virtude da sua rugosidade e das alterações nas trajetórias líquidas impostas pelas peças e dispositivos intercalados nos encanamentos.

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

CÁLCULO DA PERDA DE CARGA

O cálculo da perda de carga será dividido em duas partes:

A) Perda de carga em tubos retos de seção circular constante.

B) Perda de carga em acidentes da tubulação.

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

A) Fórmula universal

$$h_d = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Equação de Darcy-Weisbach})$$

Onde:

D é o diâmetro da canalização [m], L o comprimento do encanamento [m],
 V é a velocidade média do fluido [m/s], g é a aceleração da gravidade [m/s²] e
 f é o coeficiente de perda de carga distribuída.

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

Para estimar o valor do fator de atrito (f), existem inúmeras correlações, dentre elas podemos citar:

EQUAÇÃO DE COLEBROOK

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3,7065} + \frac{2,5226}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

EQUAÇÃO DE COLEBROOK

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3,7065} + \frac{2,5226}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Onde:

ε é a rugosidade equivalente [m], Re é o Número de Reynolds, D é o diâmetro interno [m] e f é o coeficiente de perda de carga distribuída.

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

EQUAÇÃO DE COLEBROOK

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3,7065} + \frac{2,5226}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Validade:

Tubos lisos ou rugosos, em regime de transição, regime turbulento plenamente desenvolvido e:

$$\frac{D / \varepsilon}{(\text{Re} \cdot \sqrt{f}) / 4} < 0,01$$

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

EQUAÇÃO DE CHURCHILL

$$f = 8 \cdot \left[\left(\frac{8}{\text{Re}} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^{3/2}} \right]^{1/12}$$

Sendo:

$$A = \left[2,457 \cdot \ln \left(\frac{1}{\left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} + 0,27 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)} \right) \right]^{16}$$
$$B = \left(\frac{27530}{\text{Re}} \right)^{16}$$

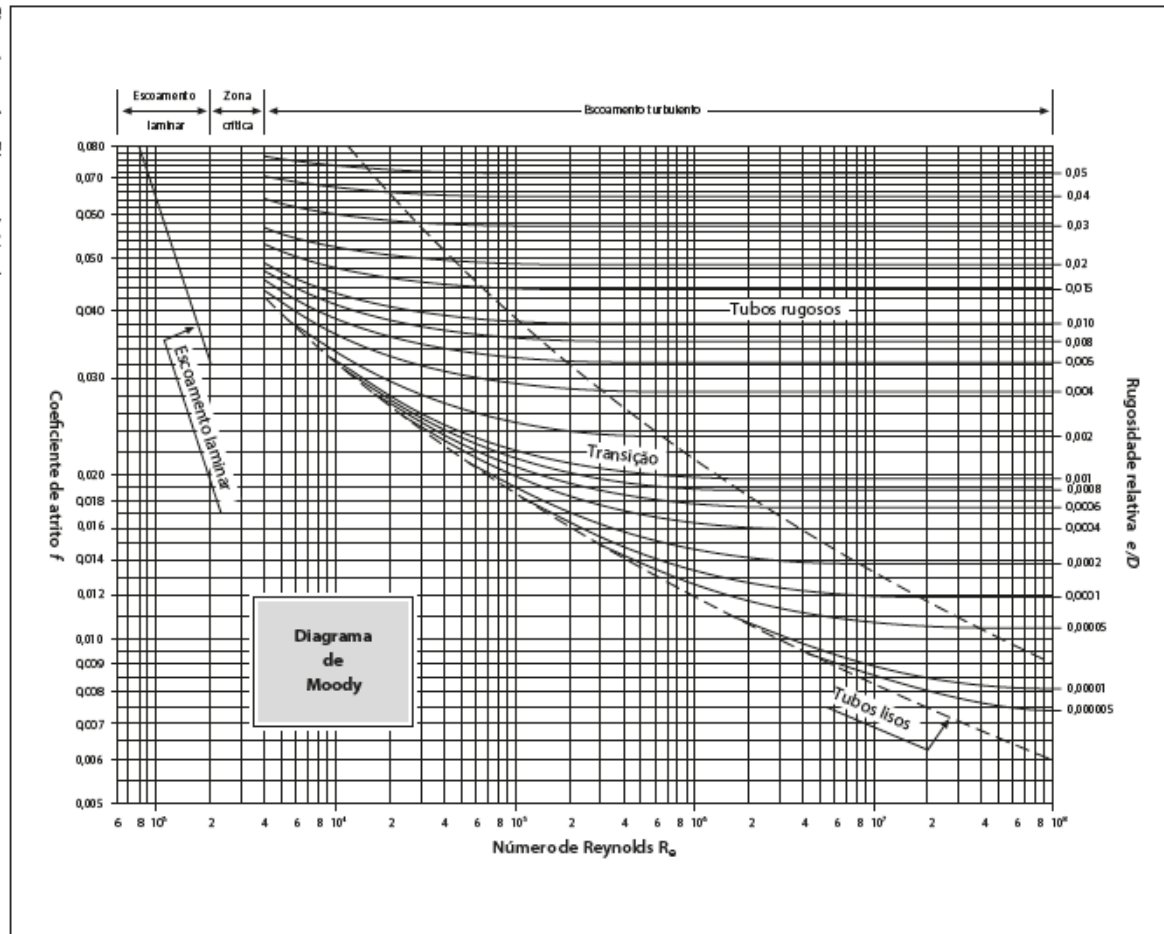
Validade: qualquer Re e qualquer ε/D

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

DIAGRAMA DE MOODY

Figura A-8.3.9-b – Diagrama de Moody.



PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR

CONSTANTE

DIAGRAMA DE HUNTER ROUSE

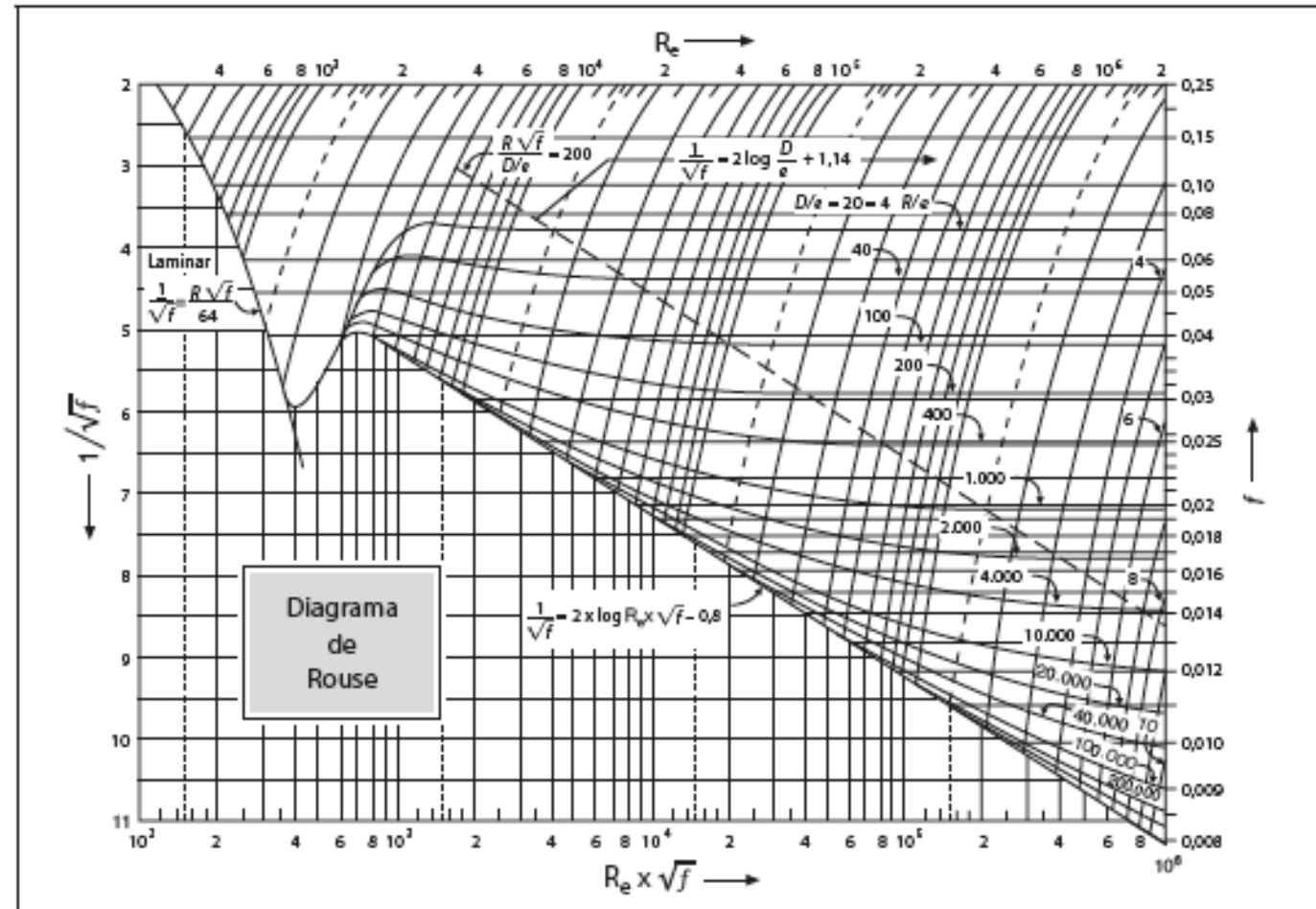


Figura A-8.3.9-a – Diagrama de Rouse.

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

B) Fórmula de Flament

$$J = \frac{h_d}{L} = 0,00212 \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}}$$

Sendo:

J = perda de carga unitária [m/m]

Q = vazão [m³/s]

D = diâmetro [m]

Validade: tubos de paredes lisas e transporte de água

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

C) Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao

Água fria, tubo de ferro galvanizado:

$$J = \frac{h_d}{L} = 0,002021 \cdot \frac{Q^{1,88}}{D^{4,88}}$$

Validade: canos de pequeno
diâmetro (1/2" a 2")

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

C) Fórmula de Fair-Wipple-Hsiao

Água fria, tubo de cobre e latão:

$$J = \frac{h_d}{L} = 0,00086 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Validade: canos de pequeno
diâmetro (1/2" a 2")

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

C) Fórmula de Fair-Wipple-Hsiao

Água quente, tubo de cobre e latão:

$$J = \frac{h_d}{L} = 0,0007 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Validade: canos de pequeno
diâmetro (1/2" a 2")

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

D) Fórmula de Hazen - Williams

$$\frac{h_d}{L} = \frac{10,643}{C^{1,85}} \times \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}}$$

Sendo:

C = coeficiente tabelado que depende da natureza do material empregado na fabricação dos dutos e das condições de suas paredes internas.

Q = vazão [m³/s]

D = diâmetro [m]

Validade: transporte de águas e esgotos em canalizações diversas, com diâmetros maiores que 50 mm e menores que 3500 mm.

PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

EXERCÍCIOS

1 – Uma tubulação de aço soldado em uso, com 1300 m de comprimento e 600 mm de diâmetro, conduz água a uma velocidade média de 1,4 m/s. Sabendo-se que a água está a 20°C, calcular a perda de carga distribuída ao longo da tubulação, pelas fórmulas apresentadas.

- a) Pela fórmula Universal
- b) Pela fórmula de Flament
- c) Pela fórmula de Fair – Wipple – Hsiao
- d) Pela fórmula de Hazen - Williamns