Objetivos da terceira aula **da unidade 6**

Estudar a determinação do coeficiente de perda de carga distribuída “f” pela maneira analítica; através do diagrama de Rouse e de forma experimental (laboratório)

Exercício 6.12

6.6 Determinação do Coeficiente de Perda de Carga Distribuída (f)

Para a determinação do coeficiente de perda de carga distribuída (f) inicialmente deve-se calcular o número de Reynolds, onde:

- ✓ se Re ≤ 2000, ou seja escoamento laminar, temos que:

$$f = \frac{64}{Re} \qquad \text{equação 6.7}$$

Através da equação 6.7, podemos concluir que o coeficiente de perda de carga distribuída para o escoamento laminar independe do material do tubo, ou seja da rugosidade da parede interna.

- ✓ se Re ≥ 4000, temos o escoamento turbulento, que pode ser subdivido em:

- ***hidraulicamente liso*** → este regime de escoamento é estabelecido para uma faixa de número de Reynolds variável, onde o limite inferior depende da turbulência natural e o limite superior depende da rugosidade da parede. O escoamento no interior do tubo é turbulento, porém existe próximo a parede interna, devido ao princípio de aderência, uma subcamada (ou filme) laminar, que cobre a rugosidade da parede. Neste caso a parede é denominada de hidraulicamente lisa e o “f não depende” do material da tubulação.

- ***hidraulicamente rugoso*** → este regime de escoamento é estabelecido quando a rugosidade da parede torna-se maior que a espessura da subcamada (ou filme) laminar . Neste tipo de escoamento o diagrama de velocidade aproxima-se do estabelecido para o escoamento ideal, como mostra a figura 6.4.

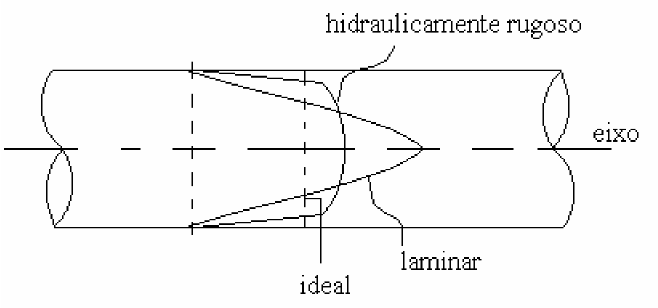


Figura 6.4

Para o escoamento hidraulicamente rugoso o "f" depende somente do parâmetro denominado ***rugosidade relativa equivalente***, que é um adimensional calculado pela expressão representada pela equação 6.8

$\pi_i = \frac{D_H}{K} \Rightarrow$ rugosidade relativa equivalente equação 6.8

No caso de Re ≥ 4000, podemos determinar o coeficiente de perda de carga distribuída das seguintes formas:

I - ***maneira analítica*** → temos duas maneiras para obtenção do "f":

a) ***método tradicional***

a.1) para o escoamento hidraulicamente liso recorre-se a expressão estabelecida por Prandtl-Nikuradse, que é representada pela equação 6.9.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log\left(Re\sqrt{f}\right) - 0,8 \qquad \text{equação 6.9}$$

a.2) para o escoamento hidraulicamente rugoso recorre-se, ou a expressão estabelecida por Von-Karman-Nikuradse, que é representada pela equação 6.10, ou a expressão estabelecida por Blench, que é representada pela equação 6.11.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log \frac{K}{3,71\,D_H} \qquad \text{equação 6.10}$$

$$f = 0,790 \cdot \sqrt{\frac{K}{D_H}} \qquad \text{equação 6.11}$$

Nota: o escoamento torna-se hidraulicamente rugoso praticamente para:

$$Re > \frac{560}{K/D_H}$$

a.3) zona de "transição" entre o escoamento hidraulicamente liso e hidraulicamente rugoso; neste caso, ou recorre-se a equação geral estabelecida por Colebrook-White, que é representada pela equação 6.12, ou pela fórmula ajustada de Wood, que é representada pela equação 6.13.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2{,}51}{Re\ \sqrt{f}} + \frac{K}{3{,}71\ .\ D_H}\right) \qquad \text{equação 6.12}$$

$$f = a + b\,.\,(Re)^{-c} \qquad \text{equação 6.13}$$

onde:

$$a = 0{,}53\left(K/D_H\right) + 0{,}094\left(K/D_H\right)^{0{,}225}$$

$$b = 88\ .\ \left(K/D_H\right)^{0{,}44}$$

$$c = 1{,}62\ .\ \left(K/D_H\right)^{0{,}134}$$

b) ***método interativo***

Este método é originado da ABNT, onde se recorre as expressões representadas pelas equações 6.14 e 6.15.

$$A = \log\left(\frac{0{,}27\ .\ K}{D_H} + \frac{2{,}51\ .\ \pi\ .\ D\ .\ \nu\ .\ x_0}{4\ .\ Q}\right) \qquad \text{equação 6.14}$$

$$x = x_0 - \frac{x_0 + 2\ .\ A}{1 + \dfrac{5{,}02}{\left(\dfrac{0{,}27\ .\ 4\ .\ K\ .\ Q}{\pi\ .\ D_H^{\,2}\ .\ \nu} + 2{,}51\ .\ x_0\right)\ .\ \ln\ 10}} \qquad \text{equação 6.15}$$

Para a utilização das equações anteriores, devemos adotar o seguinte procedimento:

1ª → Adota-se um erro "E", por exemplo 10^{-4}.

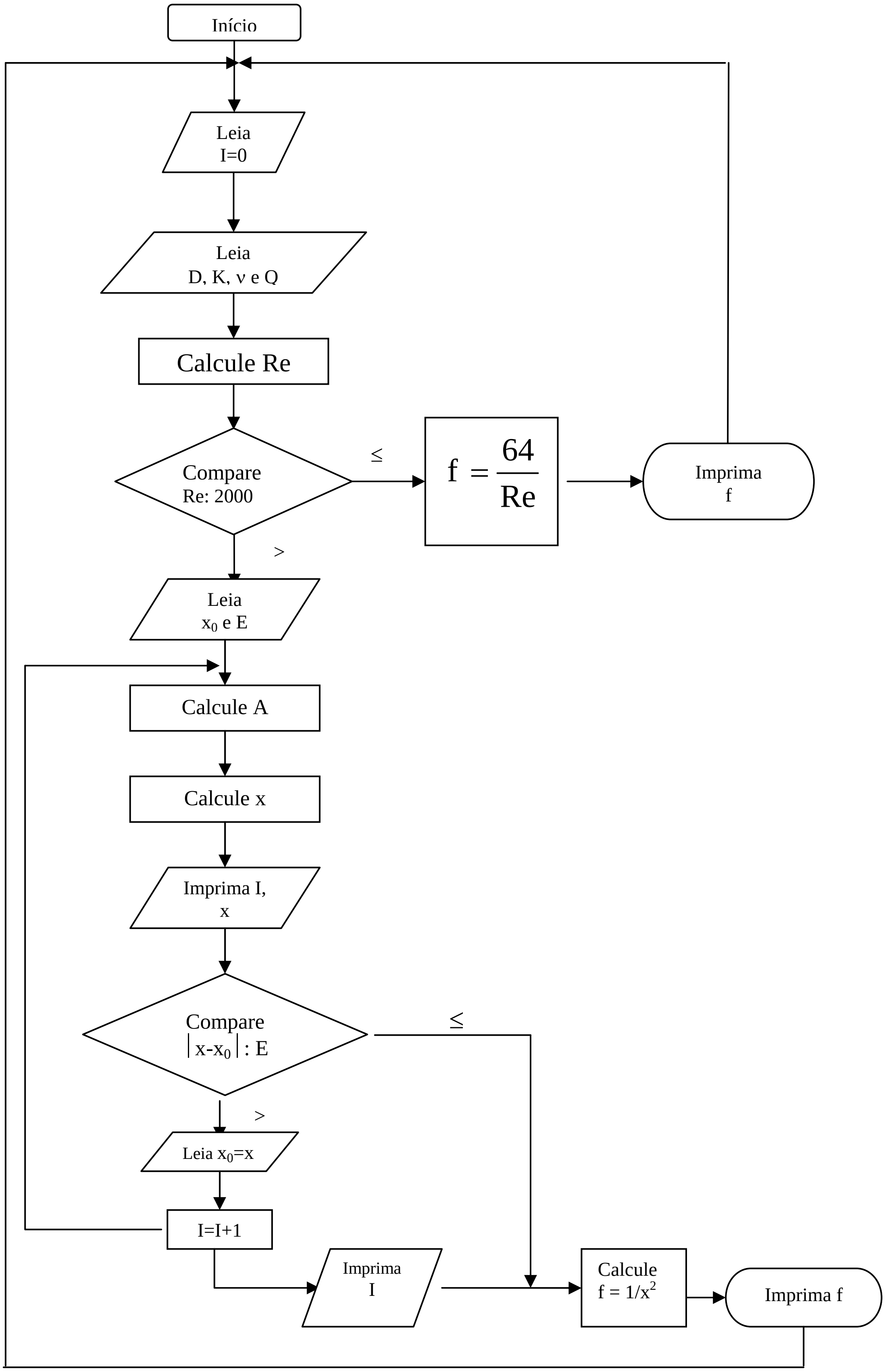
2ª → Sendo $f = 1/x^2$, adota-se um valor de xo, que geralmente corresponde a f = 0,02, ou seja $x_0 = \dfrac{1}{\sqrt{0{,}02}}$.

3ª → Através das equações 6.14 e 6.15 calcula-se x.

4ª → Se $|x - x_0| \leq E$, calcula-se $f = 1/x^2$, caso $|x - x_0| > E$, adota-se xo = x e repete-se o procedimento.

A seguir, mostramos um fluxograma que permite escrever um programa para o cálculo de "f" para qualquer tipo de escoamento.

"É importante que saibamos utilizar os recursos computacionais, já que eles facilitam os nossos trabalhos, porém é fundamental que não nos esqueçamos que é que está no comando."


Início
Leia
I=0
Leia
D, K, ν e Q
Calcule Re
Compare
Re: 2000
≤
$f = \frac{64}{Re}$
Imprima
f
>
Leia
x_0 e E
Calcule A
Calcule x
Imprima I,
x
Compare
$|x-x_0|$: E
≤
>
Leia x_0=x
I=I+1
Imprima
I
Calcule
$f = 1/x^2$
Imprima f

Através do fluxograma, elaboramos um programa em linguagem compatível à máquina de calcular (ou MICRO). Apresentamos a seguir um ***programa em basic***, compatível à máquina de calcular CASIO-PB 700, onde à esquerda simplesmente escrevemos aquilo que se deseja e a direita reescrevemos a linha, porém em BASIC.

5 → Contador das Interações igual a zero	5 → I = 0
10 → Entre com os valores de D, K, ν, Q	10 → INPUT D, k, N_I , Q
20 → Calcule o número de Re = $4Q/(\pi D\nu)$	20 → RE = $(4*Q)/(PI*D*N_I)$
25 → Se Re > 2000 vá (pule) para linha 50	25 → IF RE > 2000 THEN 50
30 → Se não for continue e calcule $f = 64/Re$	30 → F = 64/RE
35 → Imprima o valor de f	35 → PRINT " F = "; F
40 → Neste caso volte para 5 e recomece	40 → GOTO 5
50 → Entre com os valores de X_0, E	50 → INPUT X_0, E
55 → Por ser uma expressão muito grande, calcule: $A = \log\left(\frac{0{,}27 \,.\, K}{D_H} + \frac{2{,}51 \,.\, \pi \,.\, D \,.\, \nu \,.\, x_0}{4 \,.\, Q}\right)$	55 → A = LGT ($(27*k/D)$ + (2.51*PI*D * N_I * x_0) / (4*Q))
60 → Calcule o valor de : $x = x_0 - \dfrac{x_0 + 2 \,.\, A}{1 + \dfrac{5{,}02}{\left(\dfrac{0{,}27 \,.\, 4 \,.\, K \,.\, Q}{\pi \,.\, D_H^2 \,.\, \nu} + 2{,}51 \,.\, x_0\right) . \ln 10}}$	60 → x = x_0 - $(x_0 + 2*A)/(1+5.02/(((0.$ 27* 4*K*Q $)/(PI*D*D*N_I) + 2.51*x_0)$ * LOG (10)))
70 → Imprima I = . . . e X = . . .	70 → PRINT " I = "; I, " X = "; X
80 → Se $\lvert x - x_0 \rvert < E$ vá (pule) para a linha 120	80 → IF ABS $(x - x_0) < E$ THEN 120
90 → Caso $\lvert x - x_0 \rvert > E$, continue e faça : $x_0 = x$	90 → x_0 = x
100 → Some 1 ao contador I = I + 1	100 → I = I + 1
110 → Volte para linha que calcula A	110 → GOTO 55
120 → Imprima o número de interações I = ...	120 → PRINT " I = " ; I
130 → Calcule o coeficiente de perda de carga distribuída $f = 1/x^2$	130 → F = $1/(x*x)$
140 → Imprima f	140 → PRINT " F = "; F
150 → Recomece	150 → GOTO 5

II - Através do diagrama de Rouse

Para a utilização deste diagrama, seguimos a seguinte seqüência:

1º → Calculamos o número de Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D_H}{\nu} \qquad \text{equação 6.16}$$

onde a viscosidade cinemática é obtida em função do fluido e da sua temperatura. (diagrama 6.2)

2º → Se o Re ≤ 2000, podemos calcular o “f” como é mostrado na figura 6.5.

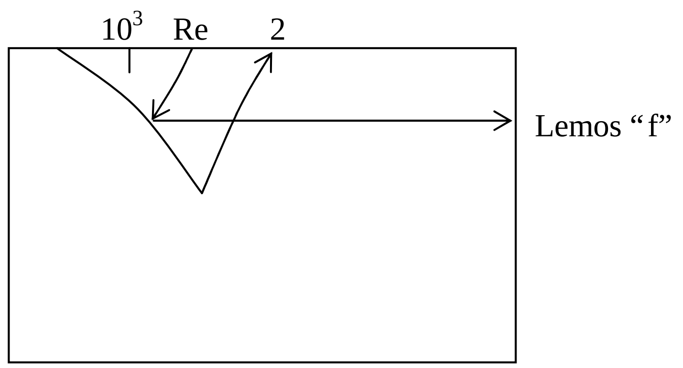


Figura 6.5

3º → Se o tubo for considerado liso, marcamos o número de Reynolds (Re) e “levamos” a curva do mesmo até cruzar a curva correspondente ao tubo liso, aí “puxamos” uma horizontal e lemos “f” (Figura 6.6).

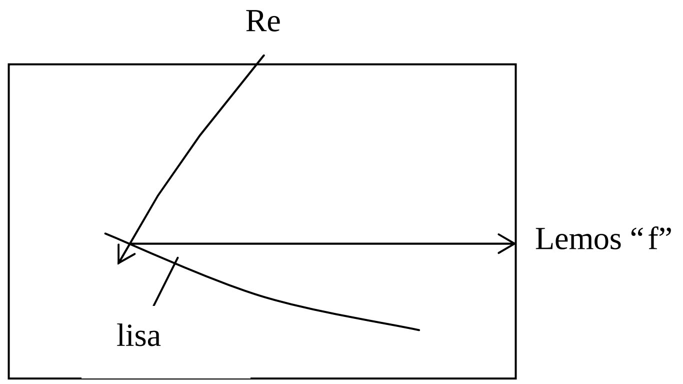


Figura 6.6

4º $\rightarrow$ Se o tubo ***não*** for considerado liso, calculamos a rugosidade relativa equivalente (D_H/K). Marcamos o número de Re e "levamos" sua curva até cruzar a linha D_H/K , calculado, aí "puxamos" uma horizontal e lemos o " f " (Figura 6.7).

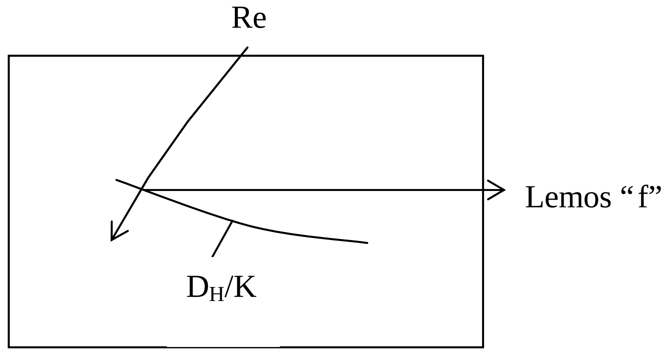
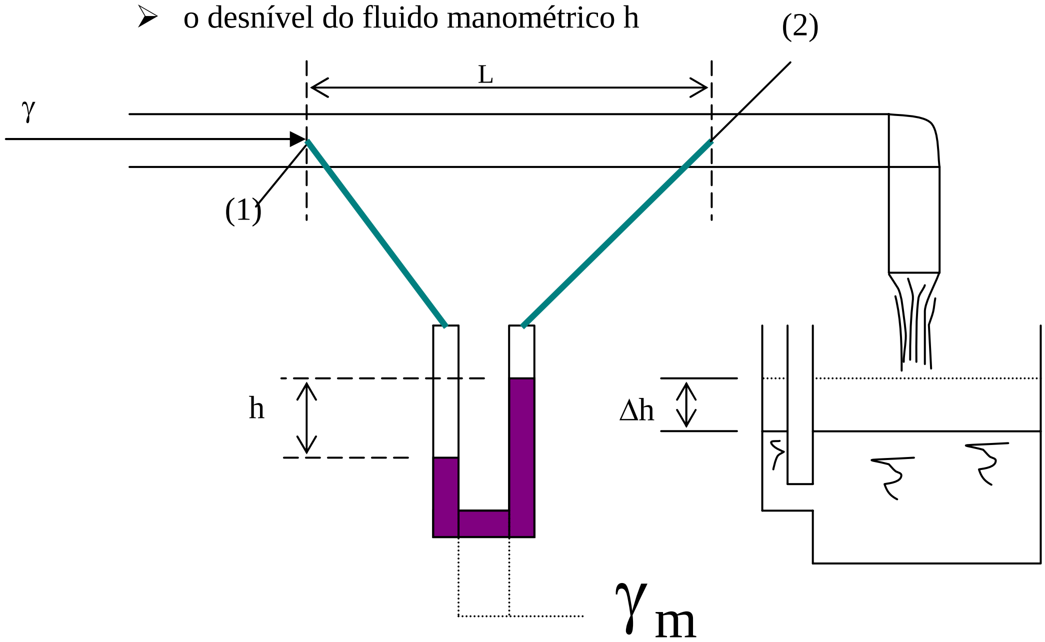


Figura 6.7

III – Determinação experimental (laboratório)

Considere o trecho da instalação hidráulica esquematizada a seguir, onde se sabe que o nível do reservatório levou um tempo "Δt" para subir "Δh".
São dados:

- L comprimento do tubo entre as seções (1) e (2), que é diferente de zero
- A_{tanque} – área da seção transversal do tanque;
- D – diâmetro interno da tubulação;
- os pesos específicos γ e γ_m
- o desnível do fluido manométrico h



Aplicando-se a equação da energia e a equação manométrica entre (1) e (2), temos:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f$$

$$\therefore h_f = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = h \times \frac{(\gamma_m - \gamma)}{\gamma}$$

Por outro lado, evocando a formula universal, obtemos:

$$h \times \frac{(\gamma_m - \gamma)}{\gamma} = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\therefore f = h \times \frac{(\gamma_{m-\gamma})}{\gamma} \times \frac{D_H}{L} \times \frac{2g}{v^2}$$

Evocando o conceito de vazão e a equação da continuidade, resulta:

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{\tan que}}{\Delta t} = v \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\therefore v = \frac{4 \times \Delta h \times A_{\tan que}}{\pi D^2 \times \Delta t}$$

Conhecendo-se a velocidade, podemos determinar o coeficiente de perda de carga distribuída “f”.

Nota: Considerando o “f” obtido, reflita como se pode estimar a rugosidade equivalente (K) no laboratório.

È através dos estudos, e suas aplicações, que desenvolvemos nossa formação...