UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

ENGENHARIA DE MATERIAIS

Mecânica dos Fluidos e Reologia

Prof. Dr. Sérgio R. Montoro

sergio.montoro@usp.br

srmontoro@dequi.eel.usp.br

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

ENGENHARIA DE MATERIAIS

Mecânica dos Fluidos e Reologia

AULA 7

ESCOAMENTO PERMANENTE DE FLUIDO INCOMPRESSÍVEL EM CONDUTOS FORÇADOS

DEFINIÇÕES

DEFINIÇÕES

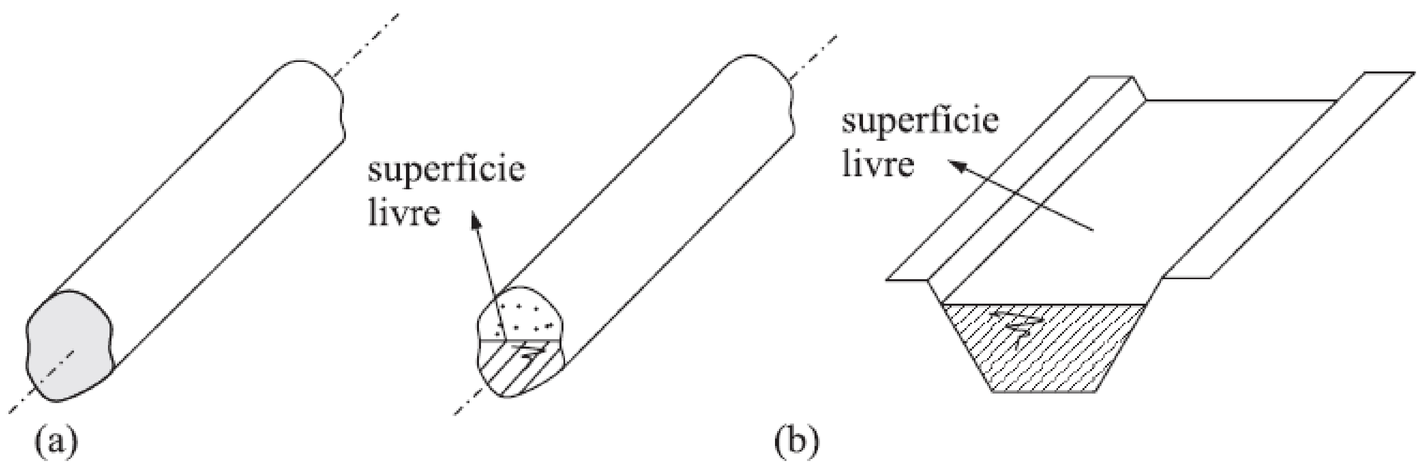
A seguir, serão introduzidas definições e conceitos utilizados ao longo do assunto.

1. Condutos – Classificação

Conduto é qualquer estrutura sólida, destinada ao transporte de fluidos. Os condutos são classificados, quanto ao comportamento dos fluidos em seu interior, em forçados e livres.

DEFINIÇÕES

O conduto é dito forçado quando o fluido que nele escoa o preenche totalmente, estando em contato com toda a sua parede interna, não apresentando nenhuma superfície livre (Figura a). O conduto é dito livre quando o fluido em movimento apresenta uma superfície livre (Figura b).



DEFINIÇÕES

2. Raio e diâmetro hidráulico

Raio hidráulico (R_H) é definido como:

$$R_H = \frac{A}{\sigma}$$

Onde: A = área transversal do escoamento do fluido;

σ = perímetro "molhado" ou trecho do perímetro, da seção de área A, em que o fluido está em contato com a parede do conduto.

DEFINIÇÕES

2. Raio e diâmetro hidráulico

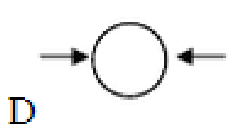
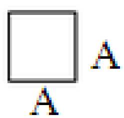
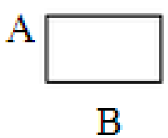
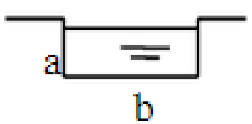
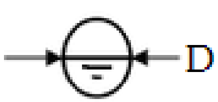
Diâmetro hidráulico (D_H) é definido como:

$$D_H = 4R_H$$

A tabela a seguir apresenta alguns exemplos:

DEFINIÇÕES

2. Raio e diâmetro hidráulico

SEÇÃO	Área	**P**	Rh	Dh
	$\pi \frac{D^4}{4}$	π D	$\frac{D}{4}$	D
	a^2	4^a	$\frac{a}{4}$	A
	ab	2(a + b)	$\frac{ab}{2(a+b)}$	$\frac{2ab}{a+b}$
	ab	2 a + b	$\frac{ab}{2a+b}$	$\frac{4ab}{2a+b}$
	$\pi \frac{D}{8}$	$\pi \frac{D}{2}$	$\frac{D}{4}$	D

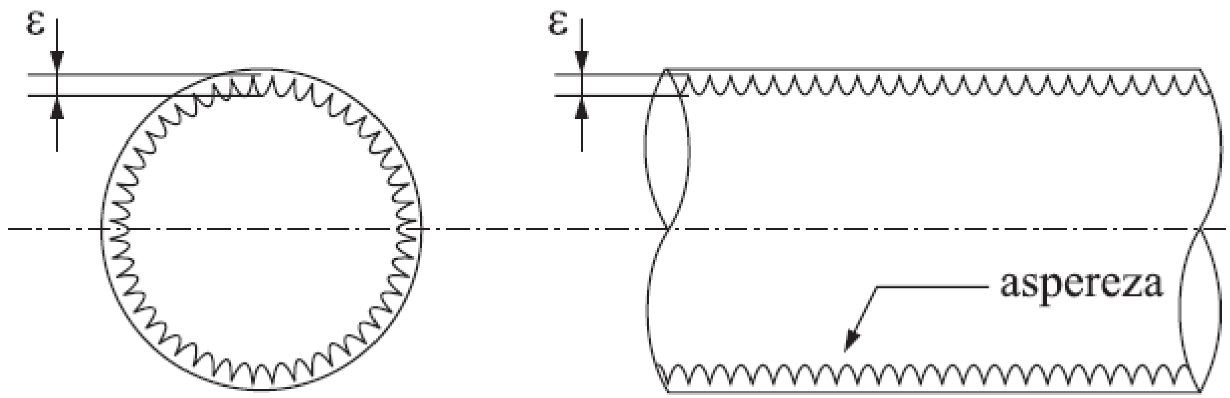
DEFINIÇÕES

3. Rugosidade

Os condutos apresentam asperezas nas paredes internas que influem na perda de carga dos fluidos em escoamento. Em geral, tais asperezas não são uniformes, mas apresentam uma distribuição aleatória tanto em altura como em disposição. No entanto, para efeito de estudo, supõe-se inicialmente que as asperezas tenham altura e distribuição uniformes. A altura uniforme das asperezas será indicada por ε e denominada “rugosidade uniforme”.

DEFINIÇÕES

3. Rugosidade



Para efeitos do estudo das perdas no escoamento de fluidos, é fácil compreender que elas não dependem diretamente de ε, mas do quociente D_H/ε que será chamado "rugosidade relativa".

DEFINIÇÕES

3. Rugosidade

Material	Rugosidade equivalente (mm)
Aço, revestimento asfalto quente	0,3 a 0,9
Aço, revestimento esmalte centrifugado	0,01 a 0,06
Aço enferrujado ligeiramente	0,15 a 0,3
Aço enferrujado	0,4 a 0,6
Aço muito enferrujado	0,9 a 2,4
Ferro galvanizado novo, com costura	0,15 a 0,2
Ferro galvanizado novo, sem costura	0,06 a 0,15
Ferro fundido revest. asfalto	0,12 a 0,20
Ferro fundido com crostas	1,5 a 3,0
PVC e Cobre	0,015
Cimento-amianto, novo	0,05 a 0,10

DEFINIÇÕES

4. Classificação das perdas de carga

Se for examinado o comportamento do escoamento de fluidos em condutos, será possível distinguir dois tipos de perdas de carga (não esqueça que perda de carga é a energia perdida pela unidade de peso do fluido quando este escoa).

O primeiro tipo é "**perda de carga distribuída**", que será indicada por $\mathbf{h_d}$. Tal perda, como o próprio nome diz, é a que acontece ao longo de tubos retos, de seção constante, devido ao atrito das próprias partículas do fluido entre si.

DEFINIÇÕES

4. Classificação das perdas de carga

Note-se que nessa situação a perda só será considerável se houver trechos relativamente longos de condutos, pois o atrito acontecerá de forma distribuída ao longe deles.

O segundo tipo corresponde às chamadas "**perdas de carga locais ou singulares**", que serão indicadas por $\mathbf{h_l}$. Elas acontecem em locais das instalações em que o fluido sofre perturbações bruscas no seu escoamento.

DEFINIÇÕES

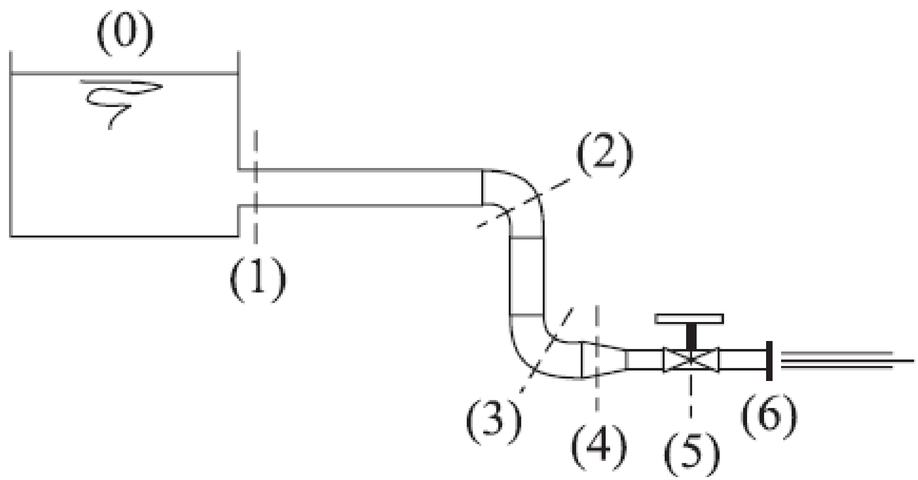
4. Classificação das perdas de carga

Essas perdas podem, diferentemente das anteriores, ser grandes em trechos relativamente curtos da instalação, como, por exemplo, em válvulas, mudanças de direção, alargamentos bruscos, obstruções parciais, etc.

Esses locais, nas instalações, costumam ser chamados de "singularidades", provindo daí o nome de "perdas de carga singulares". A figura a seguir mostra uma instalação em que são indicados os tipos de perdas que irão acontecer.

DEFINIÇÕES

4. Classificação das perdas de carga



Entre (1 e 2), (2 e 3), (3 e 4), (4 e 5) e (5 e 6) existem perdas distribuídas. Em (1) estreitamento brusco, (2) e (3) cotovelos, (4) estreitamento, (5) válvula, existem perdas localizadas.

DEFINIÇÕES

4. Classificação das perdas de carga

Mais adiante será observado que o cálculo de umas e outras perdas será efetuado de formas diferentes, como era de esperar, já que as primeiras dependem do comprimento do conduto, enquanto as outras não dependem.

CÁLCULO DA PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA EM DUTO FORÇADO

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

A perda de carga distribuída em conduto forçado é calculada com a fórmula universal de perda de carga distribuída:

$$h_d = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

(**Equação de Darcy-Weisbach**)

onde D é o diâmetro do conduto, L o comprimento do conduto, V é a velocidade média, g é a gravidade e f é o coeficiente de perda de carga distribuída.

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

Para escoamento laminar, *f* independe da rugosidade rugosidade relativa ε/D, sendo possível obter uma expressão analítica para *f* na forma:

$$f_{laminar} = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

Para escoamento turbulento, *f* é obtido por via experimental, tendo por base a seguinte função envolvendo os adimensionais número de Reynolds (Re) e rugosidade relativa (ε/D):

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

$$f_{turbulento} = \phi\left(\mathrm{Re}, \frac{\varepsilon}{D}\right)$$

As primeiras tentativas experimentais para a determinação da forma da função ϕ, foram realizadas a partir dos anos 1930, utilizando grãos de areia de tamanhos conhecidos colados nas superfícies internas de tubos lisos.

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

Para regime turbulento (**fórmula de Blasius**):

$$f_{turbulento} = \frac{0,316}{\mathrm{Re}^{0,25}}$$

Fórmula de Blasius $\Rightarrow$ relação empírica válida para Re até 10^5 e tubos lisos.

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

Colebrook em 1939 combinando os dados disponíveis para o escoamento de transição e turbulento, em tubos lisos e rugosos, chegou à seguinte relação implícita para a determinação de f e que ficou conhecida como a fórmula de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2{,}0\log\left(\frac{\varepsilon / D}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right)$$

Com o logaritmo tomado na base 10.

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

A fórmula de Colebrook em 1939 também pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0{,}86 \times \ln\left(\frac{\varepsilon / D}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right)$$

Essa equação é válida para tubos rugosos e novos.

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

A fórmula de Colebrook requer, em geral, processo de cálculo iterativo para a determinação de *f*. Muita embora, a convergência desse processo ocorra, normalmente, em até duas, no máximo até três iterações, pode-se evitar esse trabalho utilizando uma fórmula explícita em relação a *f* que tem sido recomendada:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} + \frac{5,74}{\mathrm{Re}^{0,9}}\right)\right]^2} \qquad f = \frac{1,325}{\left[\ln\left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} + \frac{5,74}{\mathrm{Re}^{0,9}}\right)\right]^2}$$

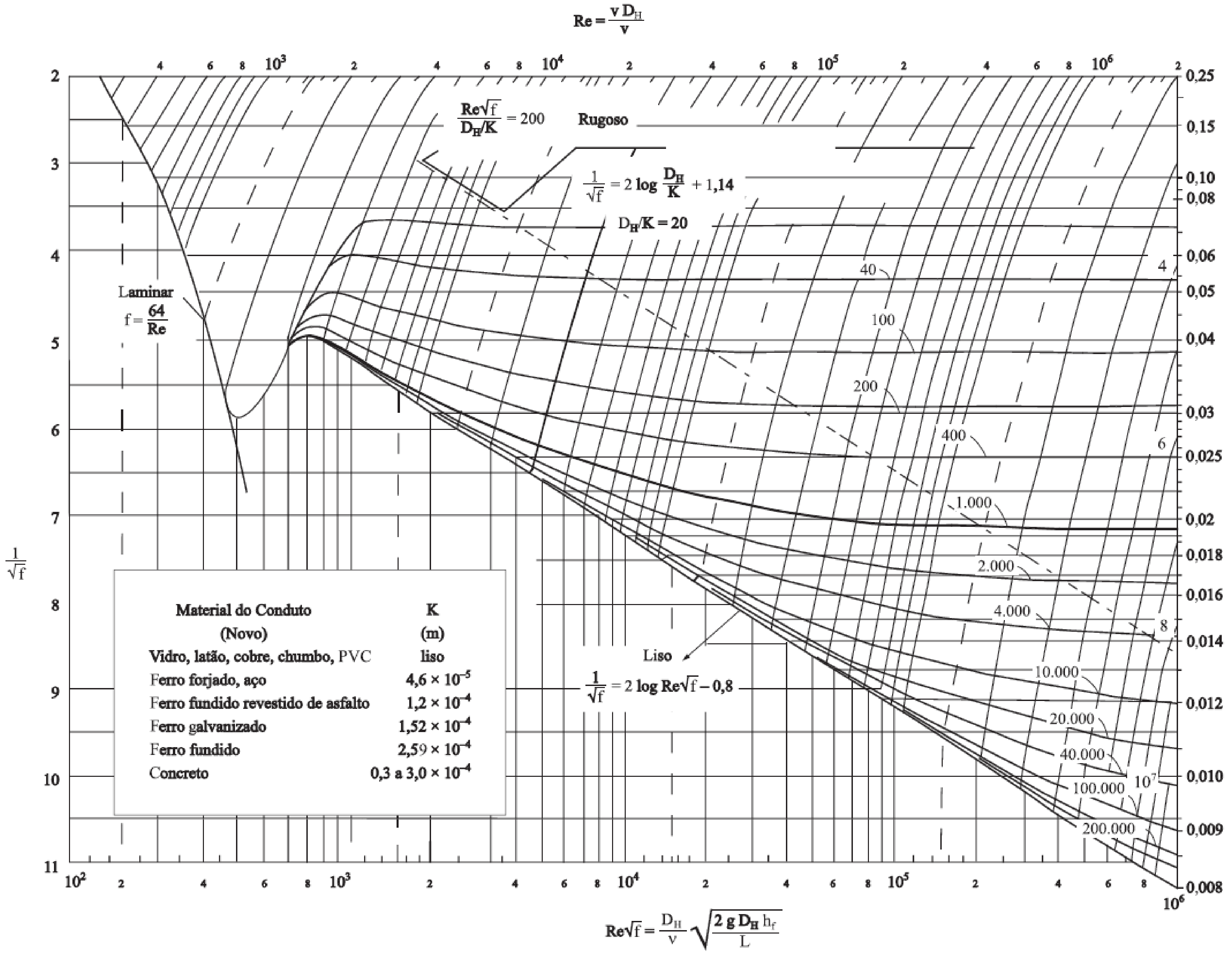
$10^{-6} \leq \varepsilon/D \leq 10^{-2}$ e $5x10^{3} \leq \mathrm{Re} \leq 10^{8}$

PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

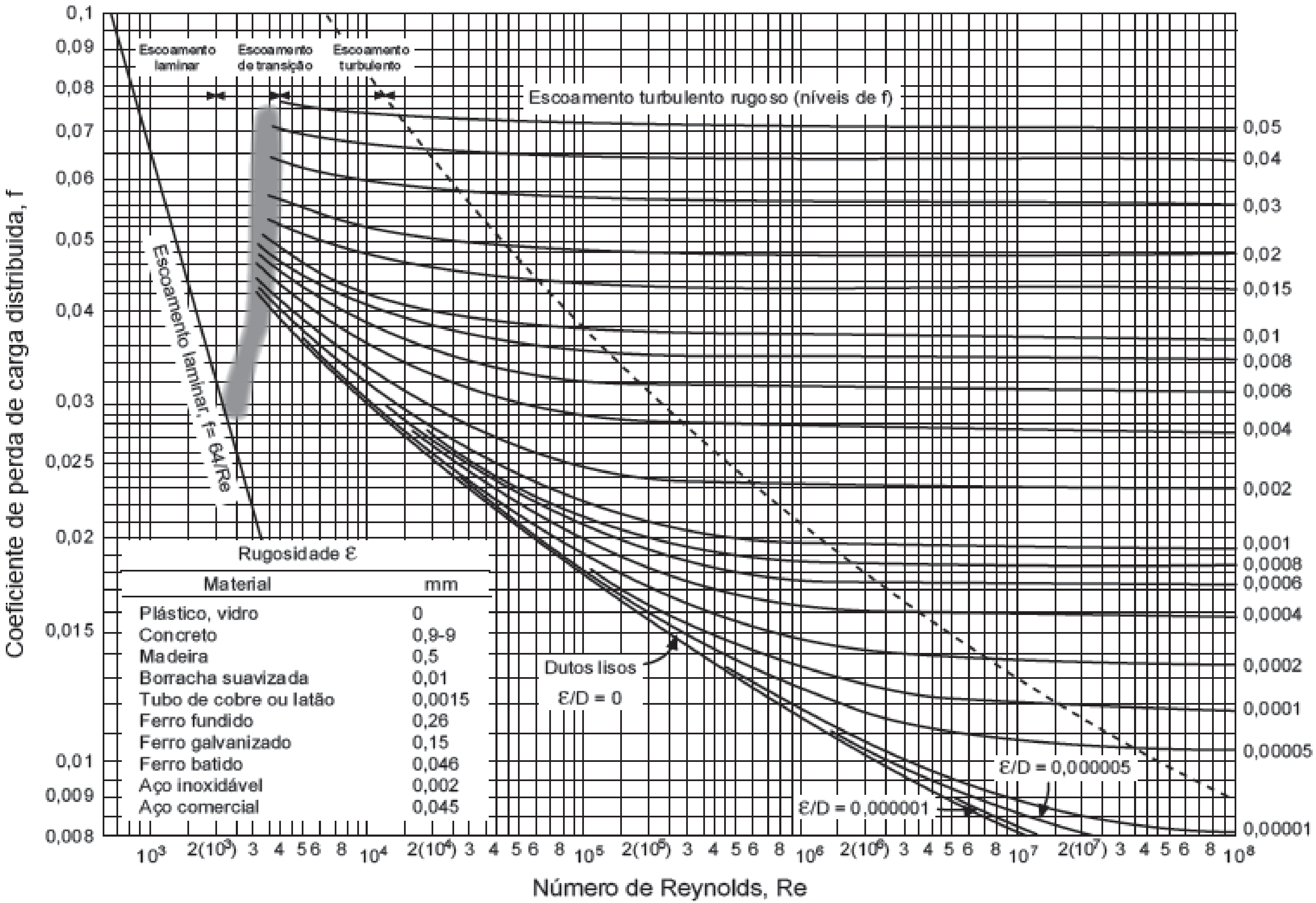
Rouse criou um gráfico para a determinação de *f*, incluindo o regime laminar, aplicável às rugosidades de tubos comerciais Moody reformulou o gráfico de Rouse, tendo gerado o notório diagrama de Moody-Rouse, o qual vem reproduzido na figura a seguir.

O diagrama de Moody-Rouse fornece valores de *f* com uma incerteza de até 15% dos dados experimentais.

Observa-se que o diagrama de Moody-Rouse é subdividido em regiões onde o escoamento apresenta características peculiares.



$Re = \frac{v D_H}{\nu}$
$\frac{Re\sqrt{f}}{D_H/K} = 200$
Rugoso
$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D_H}{K} + 1{,}14$
$D_H/K = 20$
Laminar
$f = \frac{64}{Re}$
40
100
200
400
1.000
2.000
4.000
10.000
20.000
40.000
100.000
200.000
Liso
$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log Re\sqrt{f} - 0{,}8$
$\frac{1}{\sqrt{f}}$
$Re\sqrt{f} = \frac{D_H}{\nu}\sqrt{\frac{2 g D_H h_f}{L}}$
Material do Conduto (Novo)
K (m)
Vidro, latão, cobre, chumbo, PVC — liso
Ferro forjado, aço — $4{,}6 \times 10^{-5}$
Ferro fundido revestido de asfalto — $1{,}2 \times 10^{-4}$
Ferro galvanizado — $1{,}52 \times 10^{-4}$
Ferro fundido — $2{,}59 \times 10^{-4}$
Concreto — $0{,}3$ a $3{,}0 \times 10^{-4}$



Rugosidade ε

Material	mm
Plástico, vidro	0
Concreto	0,9-9
Madeira	0,5
Borracha suavizada	0,01
Tubo de cobre ou latão	0,0015
Ferro fundido	0,26
Ferro galvanizado	0,15
Ferro batido	0,046
Aço inoxidável	0,002
Aço comercial	0,045

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

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA EM DUTO FORÇADO

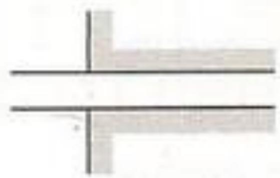
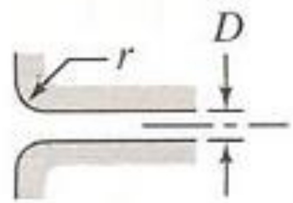
PERDA DE CARGA LOCALIZADA

A perda de carga localizada h_l em duto forçado é calculada por meio de:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g}$$

Onde K é o coeficiente de perda de carga localizada (ou singular).

PERDA DE CARGA LOCALIZADA

<table>
<tr><th>Tipo de Entrada</th><th></th><th>Coeficiente de Perda Localizada, K^a</th></tr>
<tr><td>Reentrante</td><td></td><td>0,78</td></tr>
<tr><td>Borda viva</td><td></td><td>0,5</td></tr>
<tr><td>Arredondado</td><td>
</td><td><table><tr><td>r/D</td><td>0,02</td><td>0,06</td><td>$\geq$ 0,15</td></tr><tr><td>K</td><td>0,28</td><td>0,15</td><td>0,04</td></tr></table></td></tr>
</table>

[a] Baseado em $h_{l_m} = K(\overline{V}^2/2)$, onde $\overline{V}$ é a velocidade média no tubo.

PERDA DE CARGA LOCALIZADA

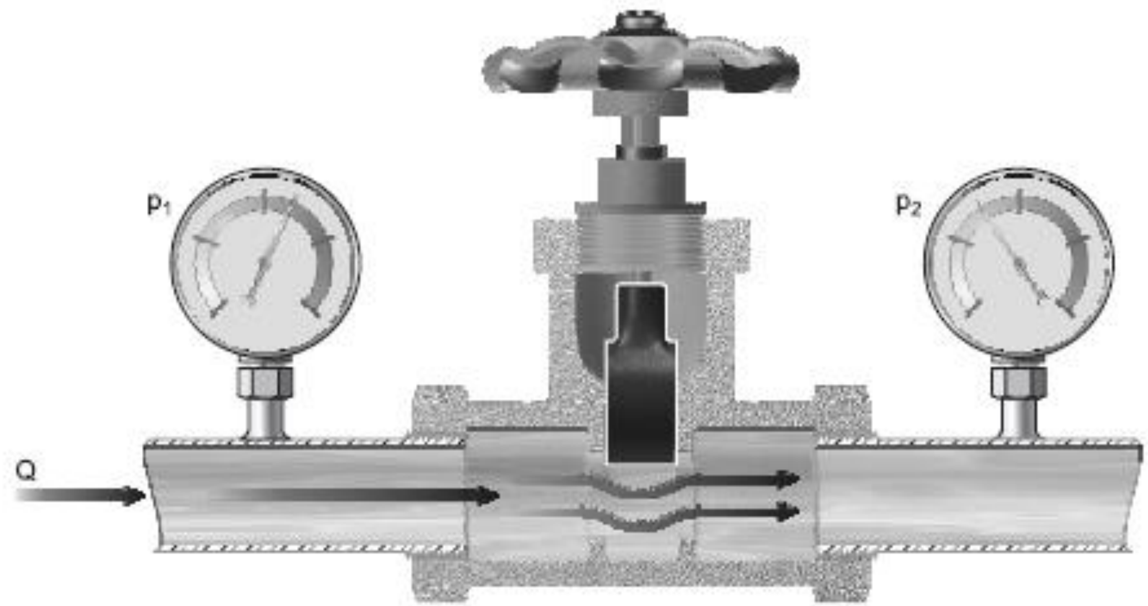
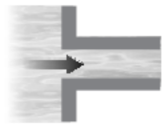
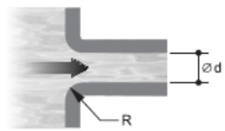
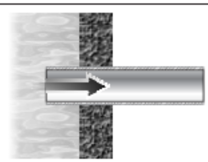
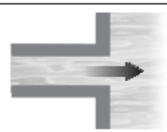
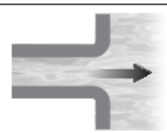
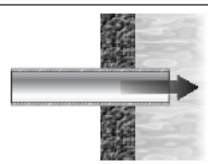
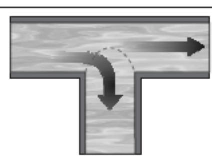


FIGURA 6.3 Determinação experimental do coeficiente de perda de carga singular

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

TABELA 6.1 Coeficientes de Perda de Carga Singular*

Acessório	Denominação	k_s
	Captação em reservatório	0,5
	Captação arredondada em reservatório	R/d: 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,3 / 0,4 k_s: 0,25 / 0,17 / 0,08 / 0,05 / 0,04
	Captação com tubo reentrante em reservatório	0,8
	Descarga em reservatório	2,0 para escoamento laminar 1,0 para escoamento turbulento
	Descarga arredondada em reservatório	2,0 para escoamento laminar 1,0 para escoamento turbulento
	Descarga com tubo reentrante em reservatório	2,0 para escoamento laminar 1,0 para escoamento turbulento
	Te padrão	1,8 (desvio)

* Dar preferência aos valores fornecidos pelo fabricante do acessório.

TABELA 6.1 *(continuação)*

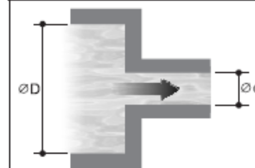
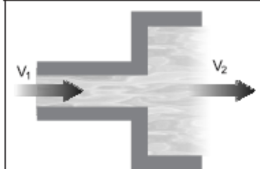
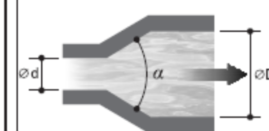
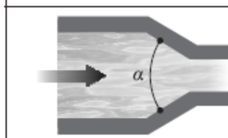
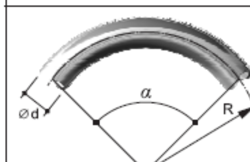
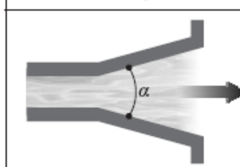
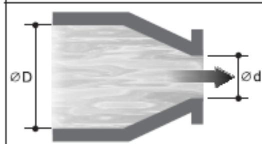
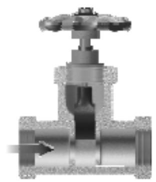
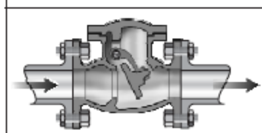
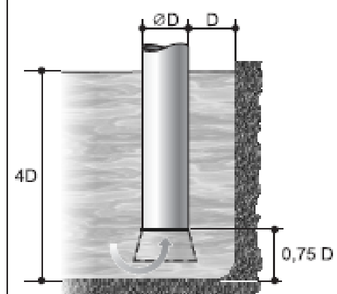
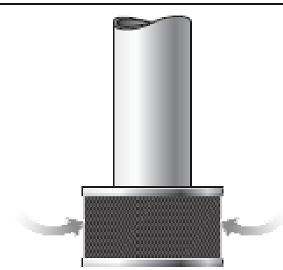
Acessório	Denominação	k_s
	Contração brusca	$(d/D)^2$: 0,01 / 0,1 / 0,2 / 0,4 / 0,6 / 0,8 k_s: 0,5 / 0,5 / 0,42 / 0,33 / 0,25 / 0,15
	Expansão brusca	$\left(1-\frac{V_2}{V_1}\right)^2$
	Difusor	para α = 20° 0,30 para d/D = 0,2 0,25 para d/D = 0,4 0,15 para d/D = 0,6 0,10 para d/D = 0,8
	Confusor	0,02 para α = 30° 0,04 para α = 45° 0,07 para α = 60°
	Cotovelo	α°: 15 / 30 / 45 / 60 / 90 k_s: 0,024 / 0,108 / 0,26 / 0,49 / 1,17
	Curva	α°: 15 / 30 / 45 / 60 / 90 $R/d = 1$: 0,01 / 0,09 / 0,17 / 0,27 / 0,53 $R/d > 3$: 0,01 / 0,03 / 0,12 / 0,20 / 0,24
	Saída do difusor	α°: 8 / 15 / 30 / 45 k_s: 0,05 / 0,18 / 0,50 / 0,60

TABELA 6.1 *(continuação)*

Acessório	Denominação	k_s
	Saída do confusor	d/D: 0,5 — 0,6 — 0,8 — 0,9 k_s: 5,5 — 4,0 — 2,6 — 1,1
	Válvula-gaveta**	0,2 (completamente aberta) 0,3 (1/4 fechada) 2,1 (1/2 fechada) 17 (3/4 fechada)
	Válvula-globo	10 (completamente aberta)
	Válvula-angular	5 (completamente aberta)
	Válvula de retenção com portinhola	0,5

** Não se recomenda utilizar válvulas-gaveta parcialmente abertas. Elas não foram concebidas para controle da vazão e/ou pressão, e sim para trabalhar completamente abertas ou fechadas. Essas válvulas são fechadas para isolar algum componente do sistema durante atividades de manutenção/inspeção, devendo estar completamente abertas quando do reestabelecimento das condições normais de operação do sistema. Para controle da vazão e/ou pressão utilizar preferencialmente válvulas-globo, ou outro tipo de válvula, dependendo da aplicação. Mais sobre válvulas no item 7.2.

TABELA 6.1 *(continuação)*

Acessório	Denominação	k_s
	Válvula-esfera	0,05 (completamente aberta)
	Tubo de sucção de bomba	Com entrada cônica: $h_s = 0{,}60D + 1{,}20\dfrac{Q}{\sqrt{D^3}} - \dfrac{V^2}{2g}$ Sem entrada cônica: $h_s = 0{,}53D + 1{,}30\dfrac{Q}{\sqrt{D^3}} - \dfrac{V^2}{2g}$ Largura do poço de sucção: 3,5 D
	Filtro de pé no tubo de sucção de bomba	10 (com válvula de pé) 5,5 (sem válvula de pé)

EXERCÍCIOS - PERDAS DE CARGAS

EXERCÍCIO 1 - Determinar a perda de carga total para um escoamento de 250 L/s de óleo ($\nu = 1x10^{-5}$ m^2/s), num tubo de ferro fundido de 1200 m de comprimento e 260 mm de diâmetro, que apresenta um canto vivo na entrada do tubo (K = 0,5) e duas válvulas globo totalmente abertas (K= 10).

Dado: ε = 0,27 mm.

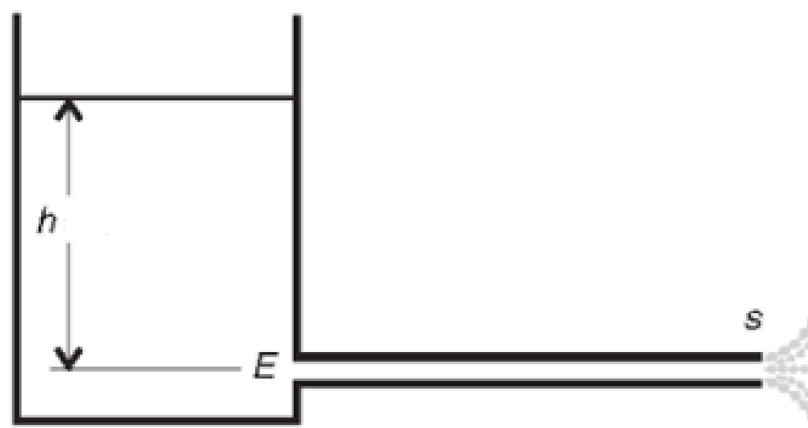
Adote g = 9,81 m/s^2

EXERCÍCIO 2 - Uma tubulação horizontal de aço comercial de comprimento 150,0 m, diâmetro 9,5 cm e rugosidade 0,048 mm, transporta água de um grande reservatório aberto, descarregando para a atmosfera. A entrada do duto é de cantos vivos a 90º (K = 0,5).

Determine:

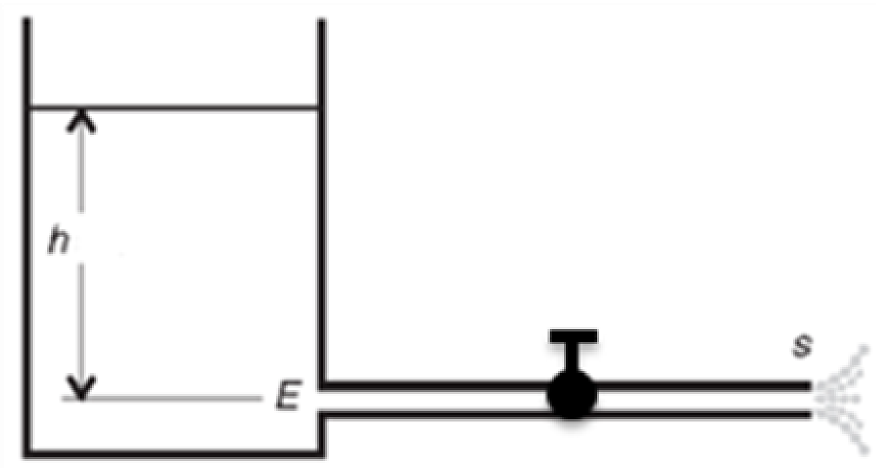
A) a altura de líquido, acima da linha central do duto, em metros, que deve ser mantida no reservatório para que a vazão volumétrica de descarga de água seja 12,0 L/s.

Dados: $\mu = 1\times10^{-3}$ N.s/m^2; $\rho = 1000$ kg/m^3; g = 9,81 m/s^2.



B) a altura de líquido, acima da linha central do duto, em metros, que deve ser mantida no reservatório para que a vazão volumétrica de descarga de água seja 20,0 L/s, levando-se em conta uma válvula-globo completamente aberta (K = 10).

Dados: μ = 1x10^{-3} N.s/m^2; ρ = 1000 kg/m^3; g = 9,81 m/s^2.



EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - O esquema a seguir representa uma tubulação de ferro galvanizado de diâmetro igual a 19 mm (ε = 0,15 mm) por onde a água escoa a uma vazão de 0,045 m^3/min. Por simplificação, o escoamento será considerado incompressível e plenamente desenvolvido nas regiões retilíneas da tubulação. A torneira (2) está completamente aberta e a pressão é atmosférica.
Pede-se determinar:

(A) a perda de carga total;

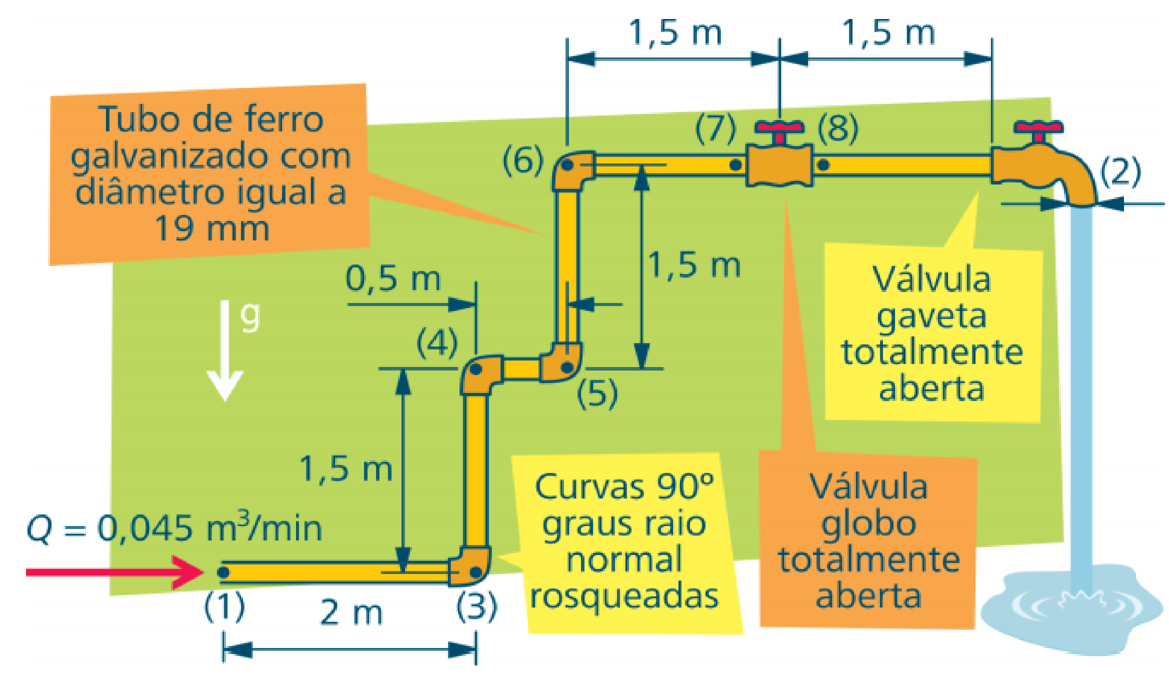
(B) a pressão na entrada do sistema;

(C) a pressão na entrada do sistema, desconsiderando a perda de carga.

Dados: ρ = 999 kg/m³ ; μ = 1,12 $\times 10^{-3}$ N.s/m² ; g = 9,81 m/s²

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1)

Componente	K
Curva 90° raio normal rosqueada	1,5
Válvula globo totalmente aberta	10
Válvula gaveta totalmente aberta	0,15



EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

A determinação da perda de carga total e obtida pela contabilização das perdas distribuídas e perdas localizadas. As perdas distribuídas são obtidas por:

$$h_d = f\,\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

onde o comprimento linear da tubulação será obtido pelo somatório dos comprimentos individuais de cada trecho, sendo:

L [m] = 2 + 1,5 + 0,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5 = 8,5 m

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

A velocidade V [m/s] da água no tubo será obtida por:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{\frac{0{,}045}{60}\,\frac{m^3}{s}}{\frac{\pi \times 0{,}019^2}{4} m^2} = 2{,}65\ \frac{m}{s}$$

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

O fator de atrito f pode obtido pelo diagrama de *Moody*. Contudo, é preciso ainda que se determinem a rugosidade relativa ε/D e o número de *Reynolds*.

Então:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0{,}15\ \text{mm}}{19\ \text{mm}} = 0{,}00789 \cong 0{,}008\ \text{(adimensional)}$$

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

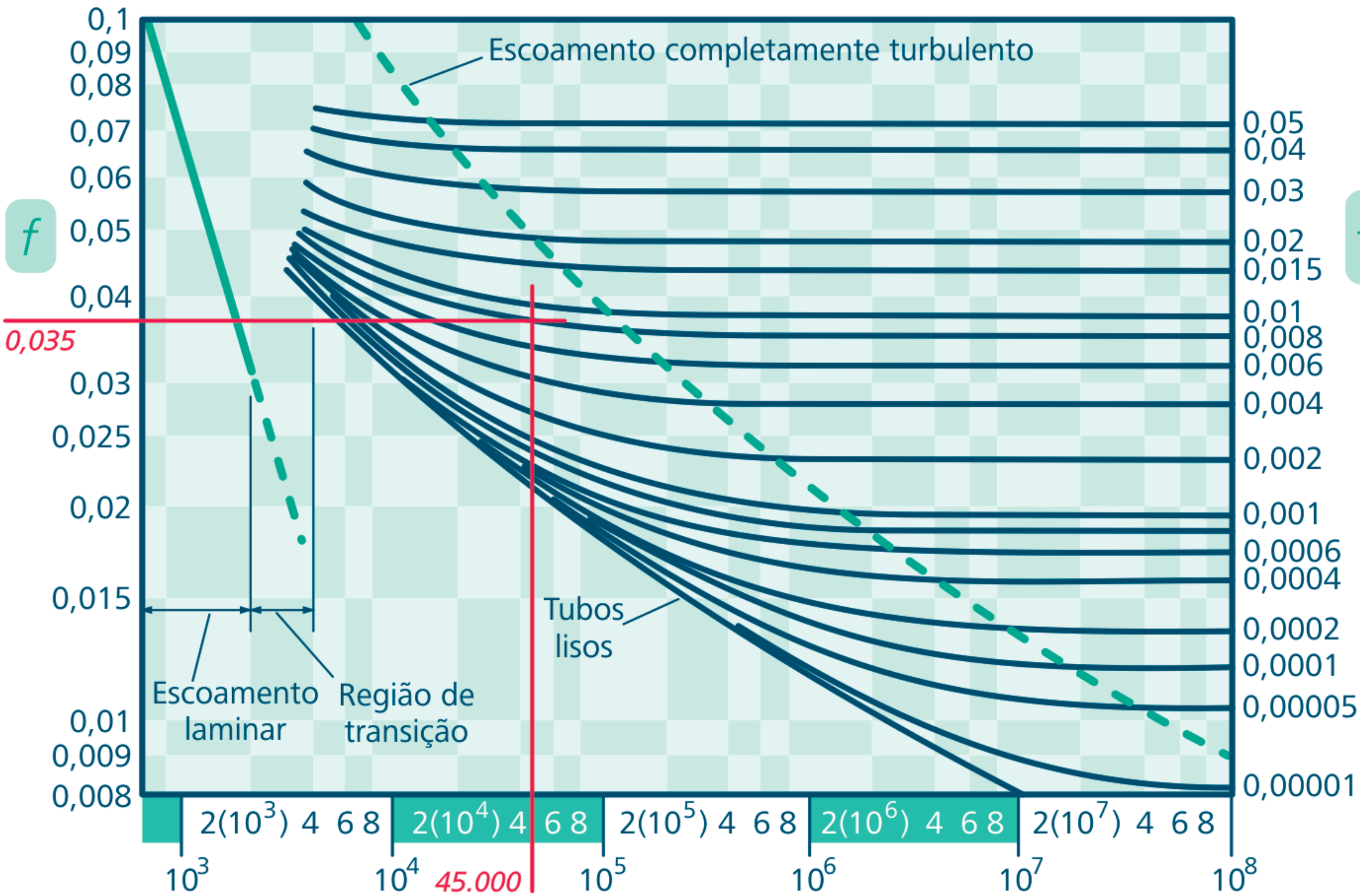
O número de *Reynolds* e dado por:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{999\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\times 2{,}65\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\times 0{,}019\mathrm{m}}{1{,}12\times 10^{-3}\frac{\mathrm{Ns}}{\mathrm{m}^2}} = 44.910$$

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

Observando o diagrama de *Moddy*, verificamos que o fator de atrito é $f = 0{,}035$.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

Mas vamos também calcular o valor do *f* pela Equação de Colebrook:

$$f = \frac{1{,}325}{\left[\ln\left(\frac{\varepsilon / D}{3{,}7} + \frac{5{,}74}{\mathrm{Re}^{0{,}9}}\right)\right]^2}$$

verificamos que o fator de atrito é *f* = 0,037.

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

Finalmente, pode-se obter a perda de carga distribuída por:

$$h_N = f\,\frac{LV^2}{D2g} = 0{,}035\,\frac{8{,}5\text{m}\times 2{,}65^2\,\dfrac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{0{,}019\text{m}\times 2\times 9{,}81\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5{,}60\text{m}$$

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

O total das perdas de cargas localizadas sera obtido pela soma das influencias de cada componente da tubulação (singularidades). Uma tabela pode ser útil para relacionar os componentes do sistema e os valores de K_L são obtidos pela Tabela.

Componente	Quantidade	K_L	$h_{LOC} = K_L \frac{V^2}{2g}$	Total de perda por componente
Curva 90° raio normal rosqueada	4	1,5	0,54	2,15
Válvula globo totalmente aberta	1	10	3,59	3,59
Válvula gaveta totalmente aberta	1	0,15	0,05	0,05

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

O total das perdas localizadas será então $h_L = 2{,}15 + 3{,}59 + 0{,}05 =$ **5,79 m.**

E a perda de carga total será:

$$h_L = h_N + h_{LOC} = 5{,}60 \text{ m} + 5{,}79 \text{ m} = 11{,}39 \text{ m}$$

Resposta do item (A)

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

Para se determinar a pressão no ponto (1), a equação da energia pode ser utilizada:

$$z_1 + \frac{v_1^{\;2}}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^{\;2}}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad \textbf{+ PERDAS}$$

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

A pressão na saída da torneira $p_2 = p_{atm} = 0$ (manométrica).

Considerando também que a área da saída da torneira e a mesma área da tubulação, então $V_1 = V_2$ fazendo com que os termos das velocidades também se anulem.

Por último, por conveniência, consideraremos $z_1 = 0$ m e $z_2 = 3$ m que e a diferença de alturas entre (1) e (2).

A equação da energia fica resumida a:

$$\frac{p_1}{\gamma} - h_L = z_2$$

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

Ou ainda,

$$p_1 = \gamma\,(z_2 + h_L) = 10000\,\frac{N}{m^3}\,(3 + 11{,}39)\,m = 143.900\ Pa$$

Resposta do item (B)

EXERCÍCIO 3 (P1 – 2021/1) - RESOLUÇÃO

Item (C):

É importante ressaltar que, se não houvesse perdas neste sistema, a pressão em (1) seria simplesmente $\boldsymbol{p_1 = \gamma z_2}$ = 10.000 x 3 = **30.000 Pa** contra os 143.900 Pa calculados.

Assim, é fácil perceber a importância de se considerarem as perdas de carga nesse sistema e a magnitude do erro que se cometeria, caso essas perdas fossem desprezadas.