Perda de carga em tubulações

Operações Unitárias

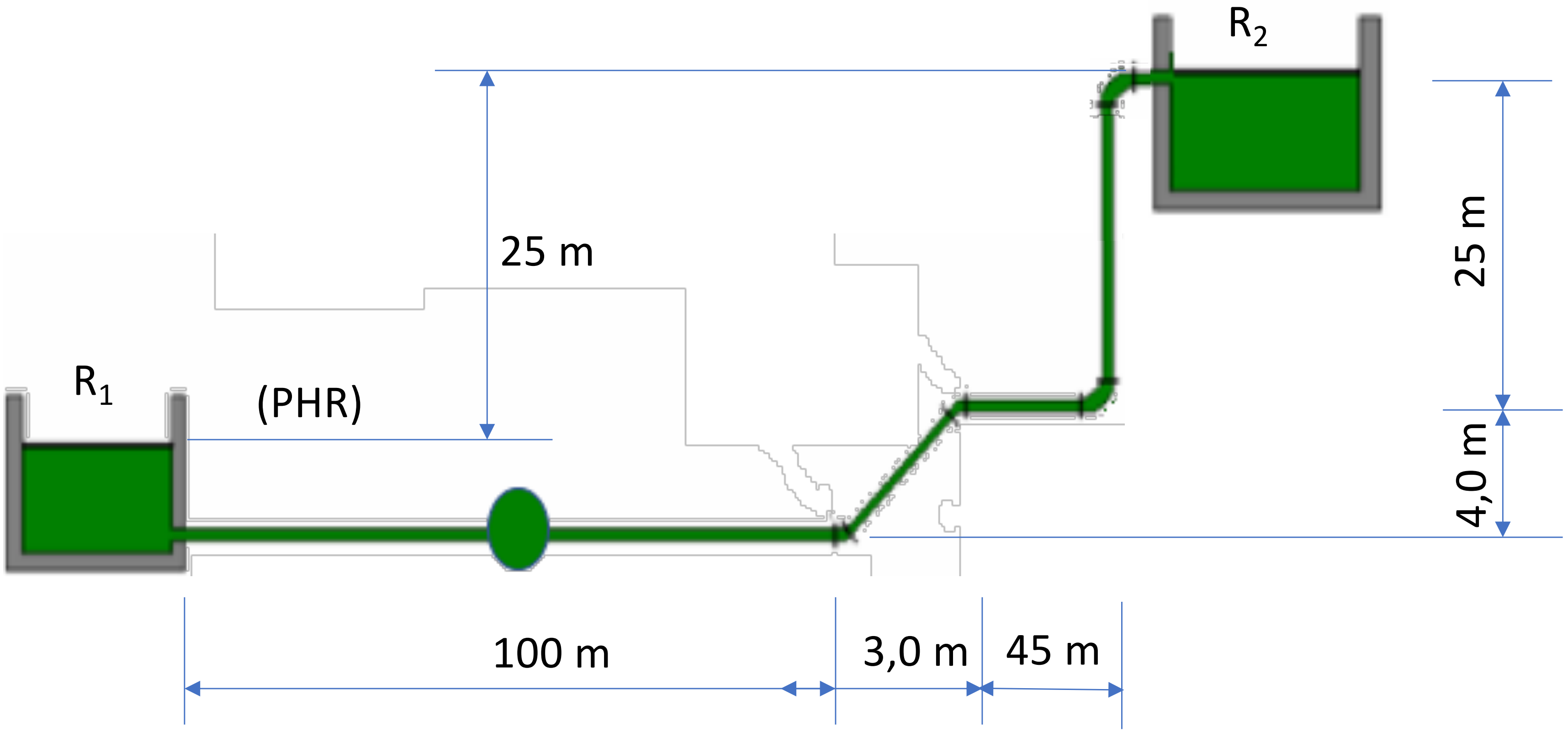
Prof. Simões

Objetivos dessa aula

- Compreender o conceito de perda de carga distribuída e localizada
- Saber o que é diâmetro e raio hidráulico
- Saber quantificar a perda de carga distribuída de uma tubulação
- Utilizar a fórmula de Darcy-Weissbach
- Compreender e utilizar o diagrama de Moody-House para a determinação da perda de carga, vazão e diâmetro da tubulação de um sistema

Problema típico

Na instalação da figura, a bomba recalca água do reservatório R_1 para o reservatório R_2, ambos em nível constante com uma vazão de 4,5 L/s. Considerando as perdas distribuídas, determinar a potência da bomba em kW sabendo que o rendimento é de 75 %. Dados: D=2"; tubos de ferro galvanizados; $\nu=10^{-6}$ m²/s; $\gamma=10^{4}$ N/m³.

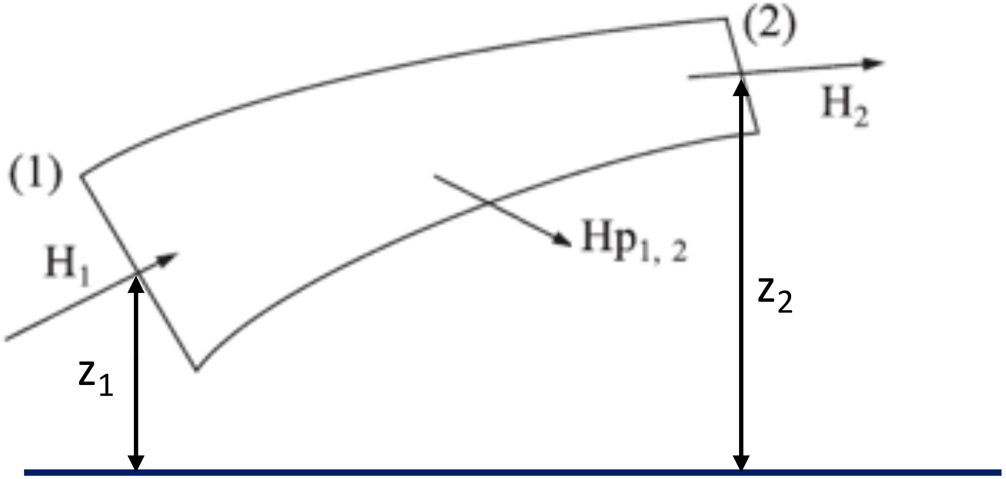


Resposta: 3,0 kW

Definição

- Representam a perda de energia no fluxo do fluido devido às forças dissipativas de atrito do fluido com o condutor e entre as partículas do fluido.

- Vimos na equação de Bernoulli que

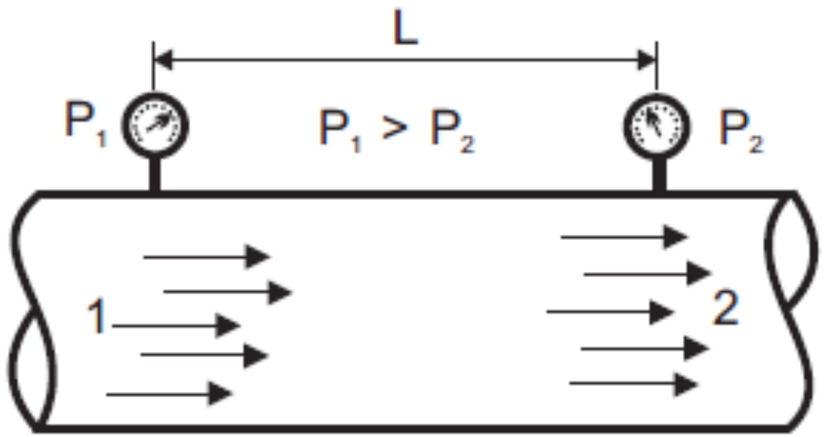


$$H_1 = H_2 + Hp_{1,2}$$

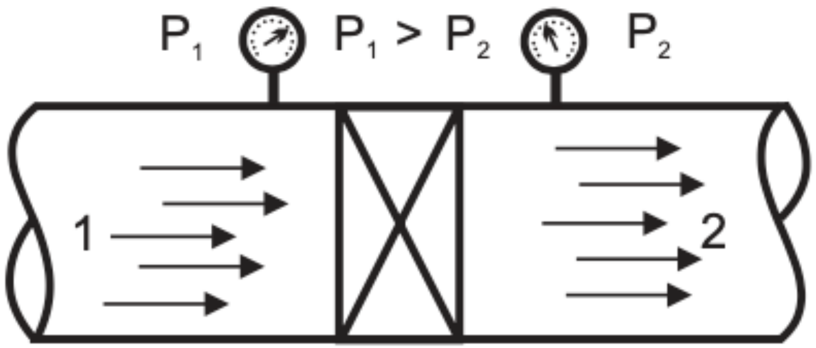
$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} + z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + Hp_{1,2}$$

Definição

- Podem ser:
  - Distribuídas



  - Localizadas:



Raio e diâmetro hidráulico

- Por vezes, nas fórmulas, pode ser necessário usar o raio ou diâmetro hidráulico de um condudor de fluido.
- O raio hidráulico é definido por:

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

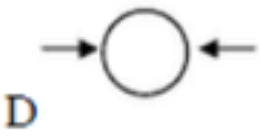
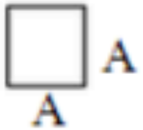
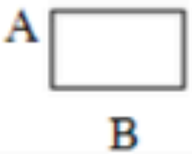
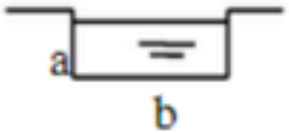
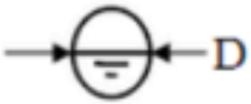
Onde:
$A \Rightarrow$ área da seção transversal
$P \Rightarrow$ perímetro molhado

- O diâmetro hidráulico é definido por:

$$D_H = 4 \cdot R_H$$

Raio e diâmetro hidráulico

- Alguns exemplos:

SEÇÃO	Área	**P**	Rh	Dh
	$\pi \frac{D^2}{4}$	π D	$\frac{D}{4}$	D
	a^2	4ª	$\frac{a}{4}$	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

Perda de carga distribuída

- A equação de Darcy-Weissbach quantifica a perda de carga distribuída da seguinte maneira:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

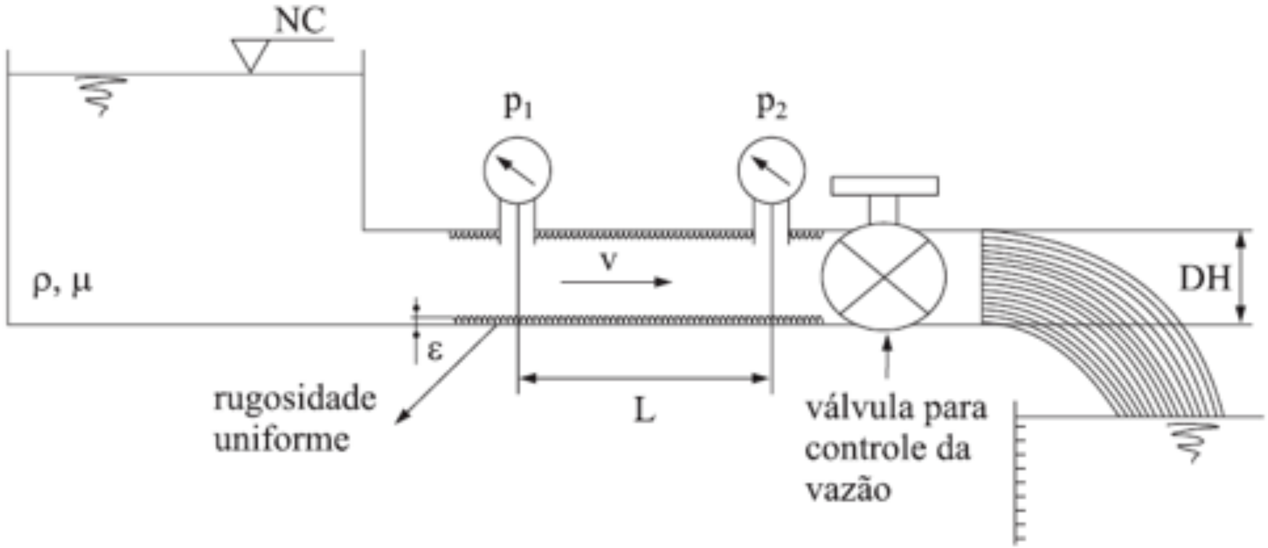
Onde:

$f \Rightarrow$ coeficiente de perda distribuída
$L \Rightarrow$ comprimento da tubulação
$D_H \Rightarrow$ diâmetro hidráulico
$v \Rightarrow$ velocidade do fluido
$g \Rightarrow$ aceleração normal da gravidade

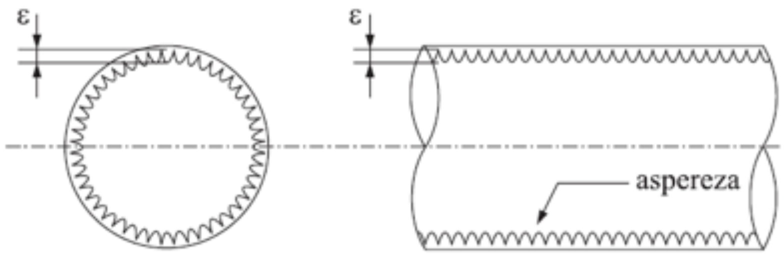
Obs.: existem outras fórmulas para perda de carga distribuída para casos específicos; a fórmula de Darcy-Weissbach é de amplo uso e abrange a maioria dos casos.

Coeficiente de perda f

- O coeficente de perda foi estudado por Nikuradse como função do número de Reynolds e da rugosidade relativa $\frac{D_H}{\varepsilon}$ do duto.



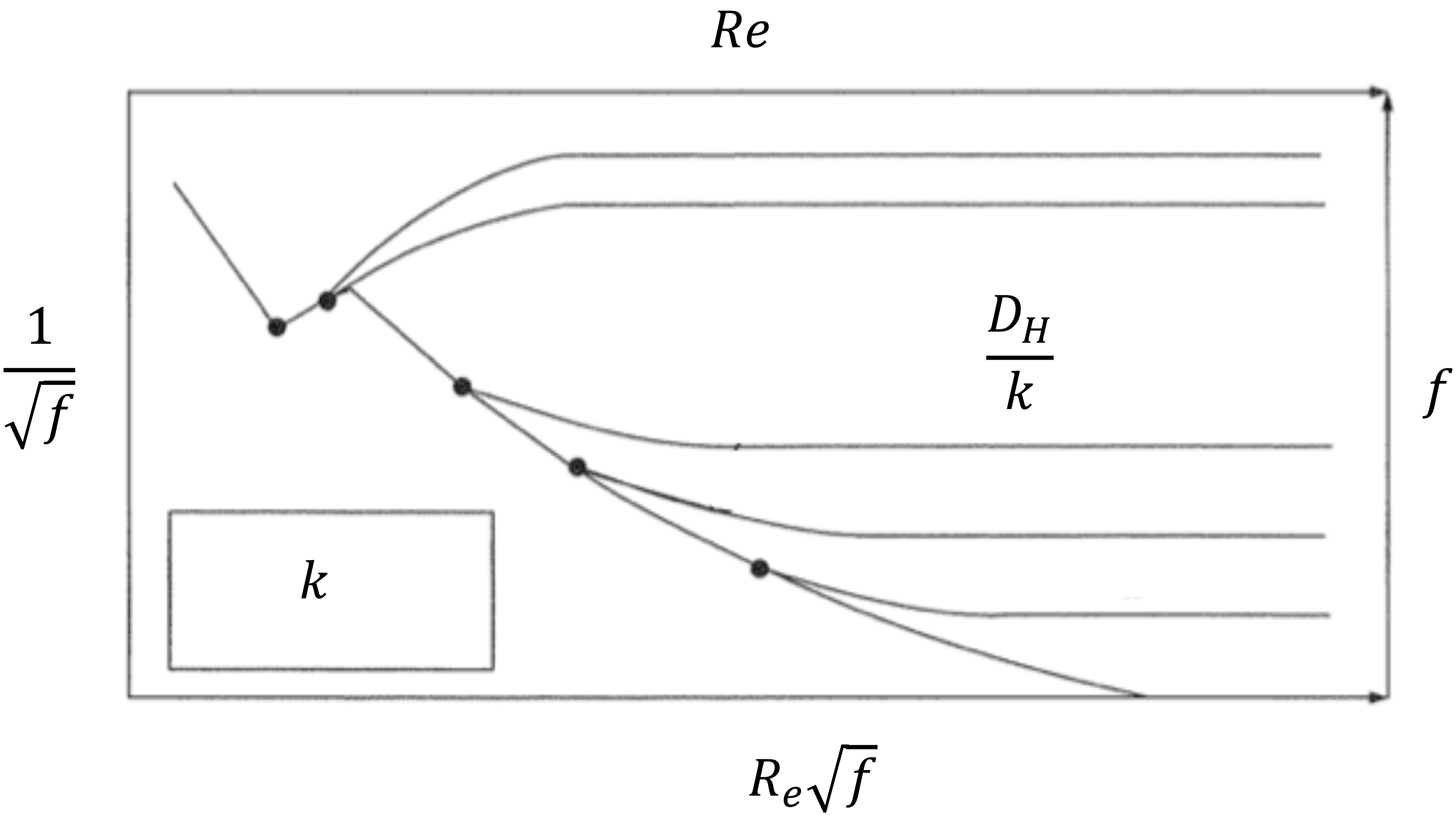
$$f = f\left(Re, \frac{D_H}{\varepsilon}\right)$$



$\varepsilon \Rightarrow$ rugosidade (m)

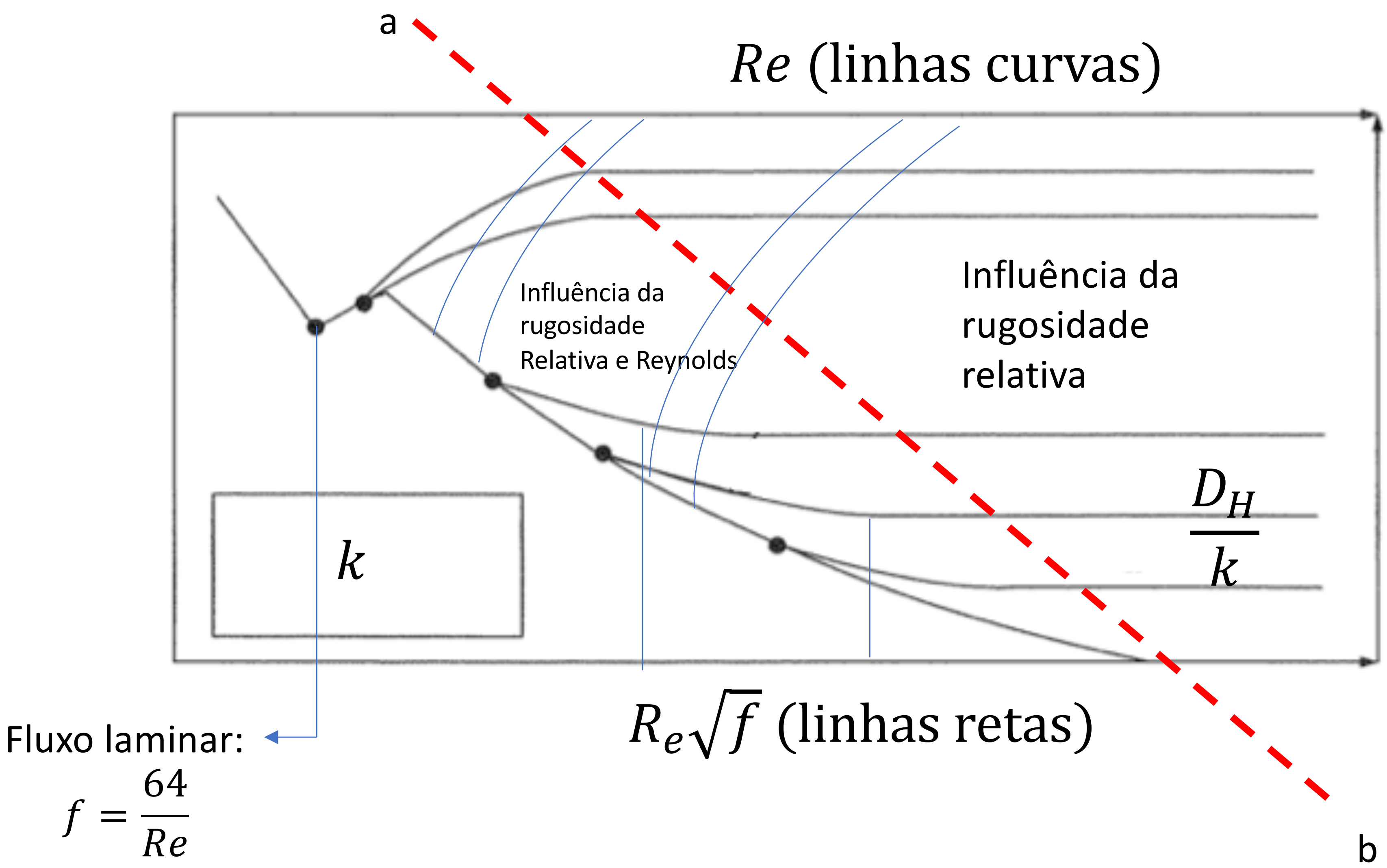
Diagrama Moody-Rouse

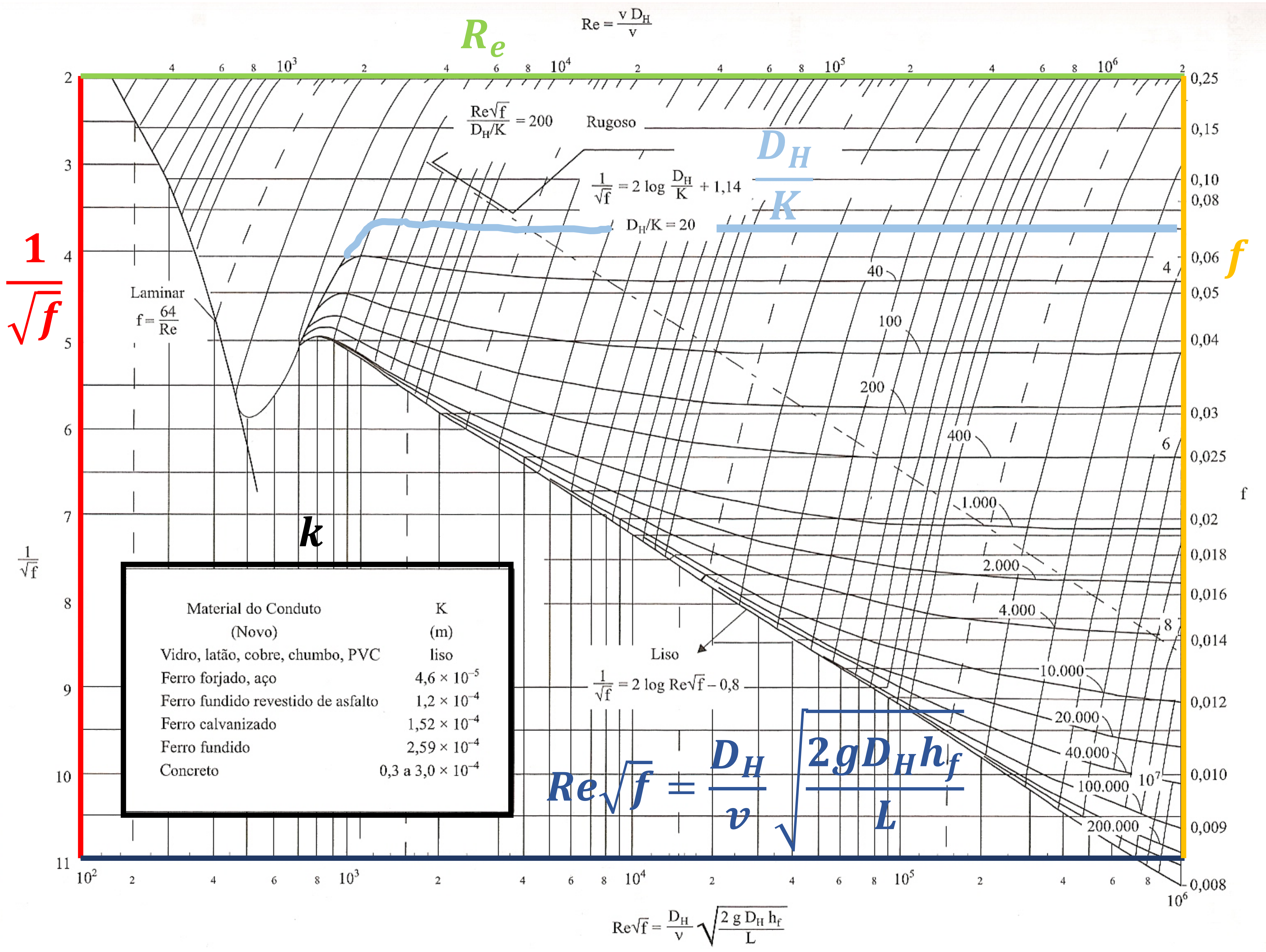
- Colebrook introduziu a rugosidade equivalente k, valor correspondente de ε nos tubos industriais.
- Moody e Rouse organizaram as variáveis no seguinte diagrama:



Coeficiente de perda f

- É possível identificar algumas regiões importantes no diagrama Moody-Rouse:





$Re = \frac{v D_H}{\nu}$
R_e
$\frac{Re\sqrt{f}}{D_H/K} = 200$
Rugoso
$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D_H}{K} + 1{,}14$
$\frac{D_H}{K}$
$D_H/K = 20$
$\frac{1}{\sqrt{f}}$
f
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
10^7
k
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 calvanizado | $1{,}52 \times 10^{-4}$
Ferro fundido | $2{,}59 \times 10^{-4}$
Concreto | $0{,}3$ a $3{,}0 \times 10^{-4}$
Liso
$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log Re\sqrt{f} - 0{,}8$
$Re\sqrt{f} = \frac{D_H}{\nu}\sqrt{\frac{2gD_Hh_f}{L}}$

Valores da rugosidade relativa k de alguns materiais

MATERIAL	k (m) - TUBOS NOVOS	k (m) - TUBOS VELHOS
Aço galvanizado	0,00015 - 0,00020	0,0046
Aço rebitado	0,0010 - 0,0030	0,0060
Aço revestido	0,0004	0,0005 - 0,0012
Aço soldado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Chumbo	lisos	lisos
Cimento amianto	0,000013	---------
Cobre ou latão	lisos	lisos
Concreto bem acabado	0,0003 - 0,0010	---------
Concreto ordinário	0,0010 - 0,0020	---------
Ferro forjado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Ferro fundido	0,00025 - 0,00050	0,0030 - 0,0050
Madeira com aduelas	0,0002 - 0,0010	---------
Manilhas cerâmicas	0,0006	0,0030
Vidro	lisos	lisos
Plástico	lisos	lisos

Método algébrico

- Os valores de f a partir de Re e D_h podem ser obtidos também com boa aproximação pelas fórmulas:
  - Para fluxo laminar

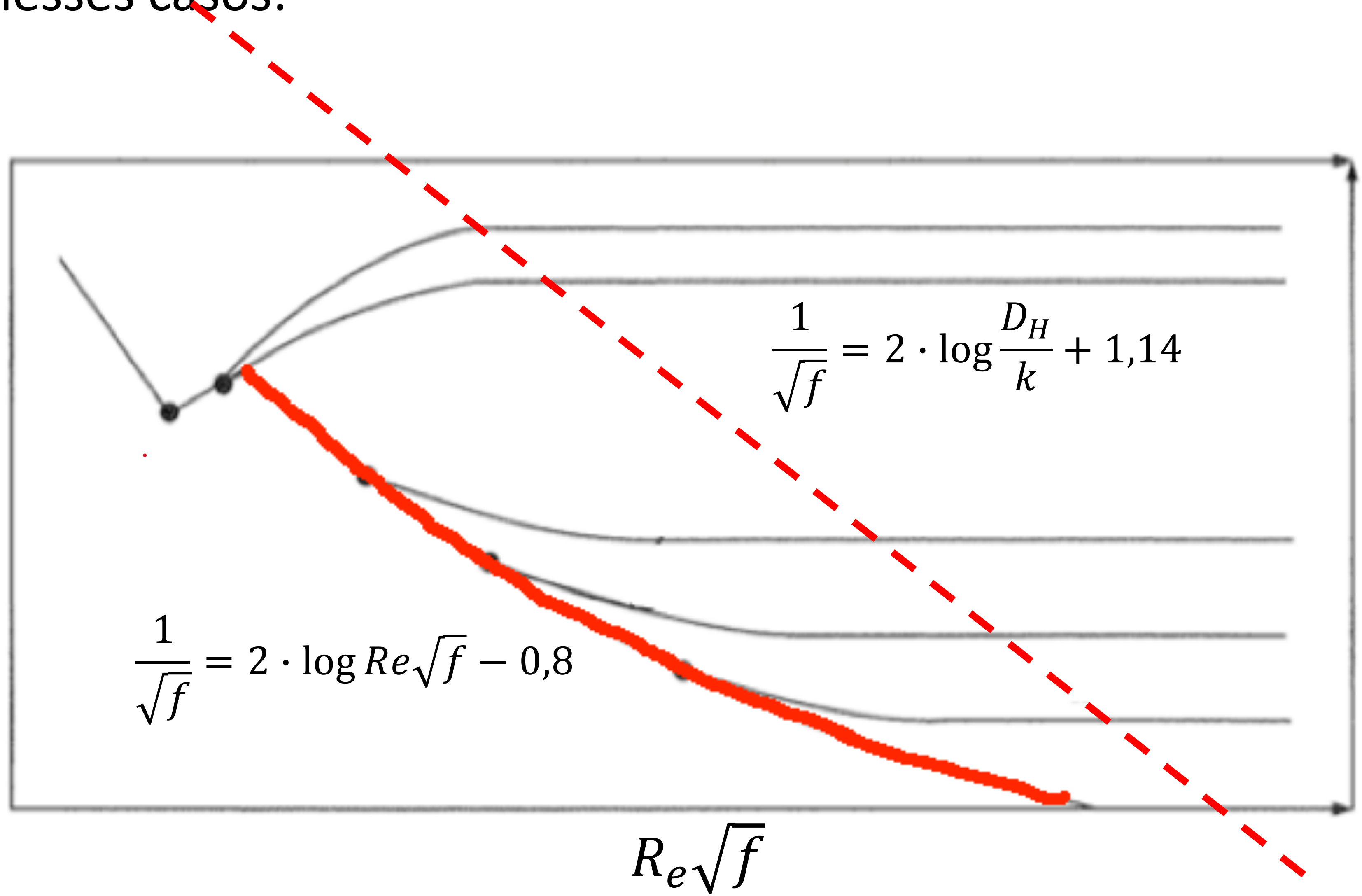
$$f = \frac{64}{Re}$$

  - Para fluxo turbulento

$$f = \frac{1{,}325}{\left[\ln\left(\frac{k}{3{,}7 \cdot D_H} + \frac{5{,}74}{Re^{0{,}9}}\right)\right]^2}$$

Método algébrico

- Há casos em que não dispomos da vazão (portanto nem da velocidade e Reynolds). Além do gráfico, podemos usar, nesses casos:



Utilização do diagrama

- Pode-se observar 3 casos importantes de utilização do diagrama:

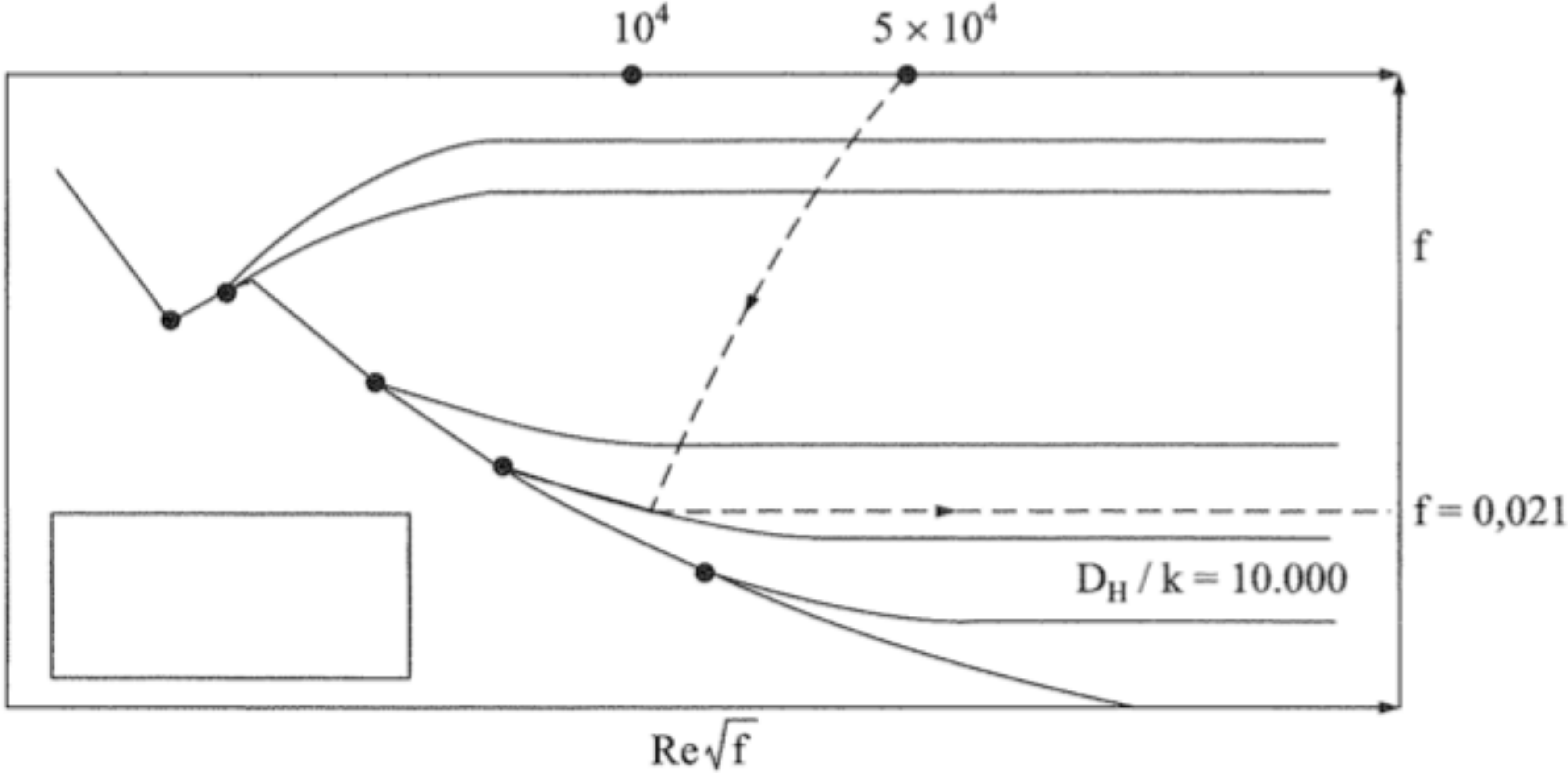
  - 1º caso: Calcular a perda de carga h_f

  - 2º caso: calcular a vazão Q

  - 3º caso: calcular o diâmetro D_H

Caso I) Cálculo da perda de carga

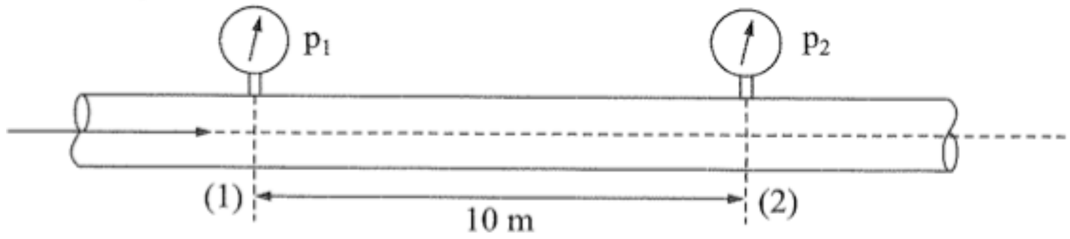
Determinar a perda de carga por km de comprimento de uma tubulação de aço de seção circular de diâmetro 45 cm. O fluido é óleo ($\nu = 1{,}06 \cdot 10^{-5}\ m^2/s$) e a vazão é 190 L/s.

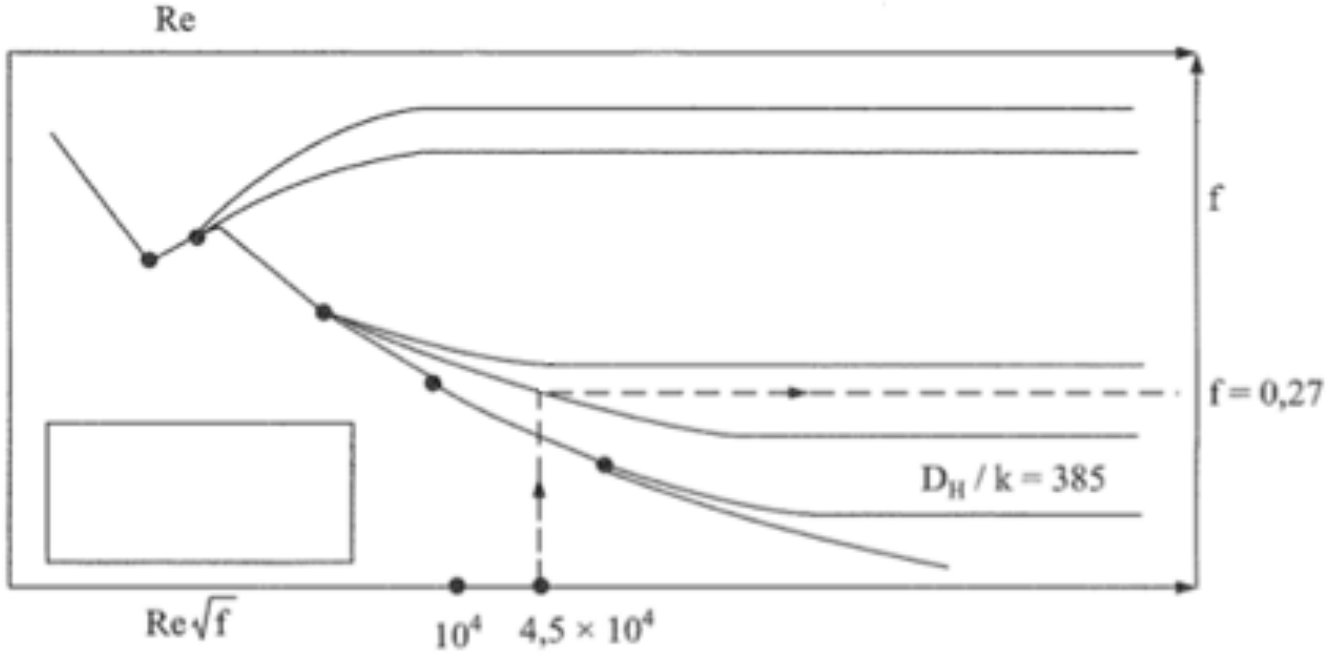


Resposta: 3,3 /km

Caso II) Cálculo da vazão

Calcular a vazão de água num conduto de ferro fundido, sendo dados D=10 cm, $\nu = 0{,}7 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$ e sabendo-se que dois manômetros instalados a uma distância de 10 m indicam respectivamente 0,15 MPa e 0,145 MPa ($\gamma_{H_2O} = 10^4\ N/m^3$).

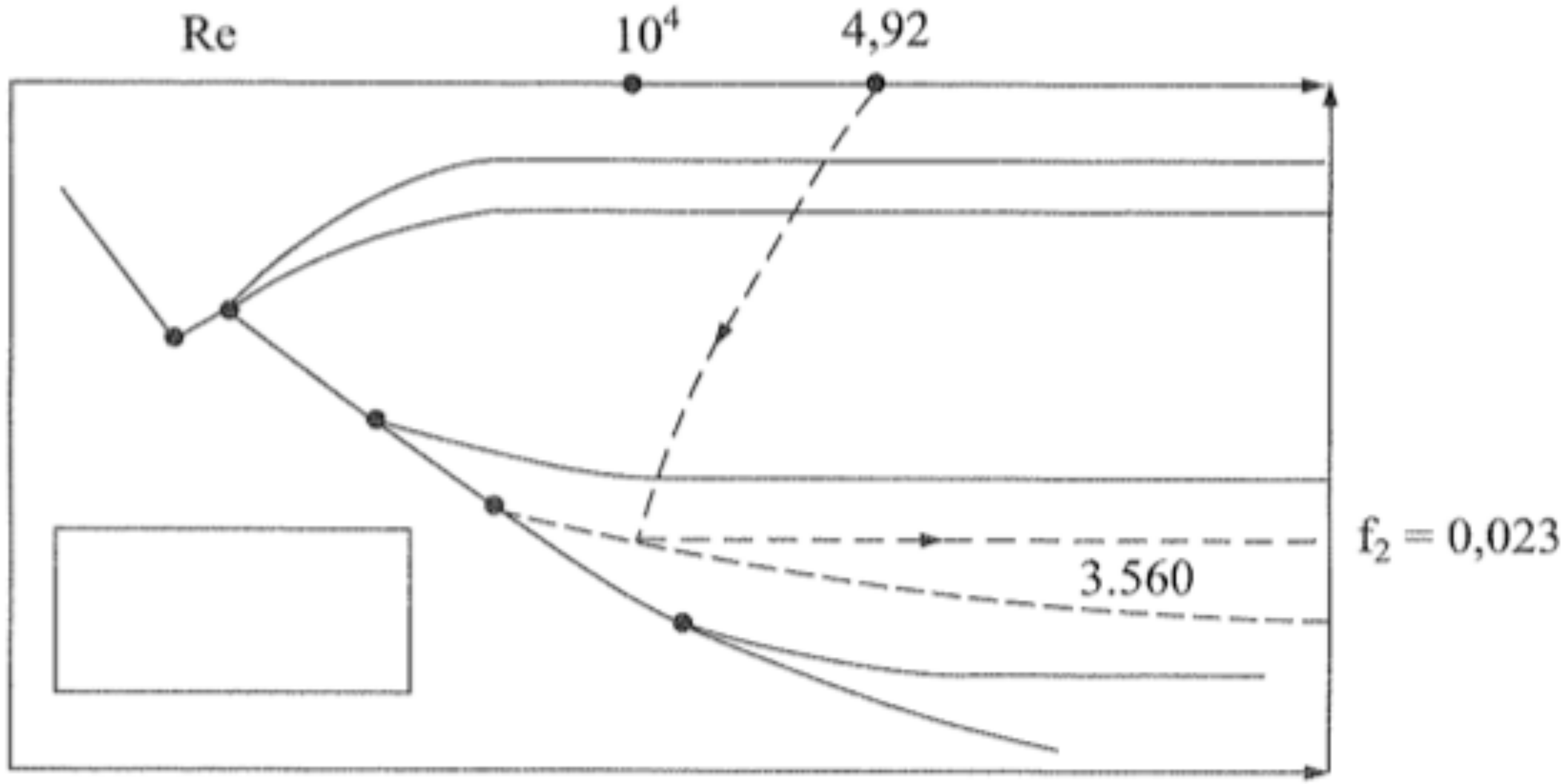




Resposta: 15,1 L/s

Caso III) Cálculo do diâmetro

Calcular o diâmetro de um tubo de aço que deverá transportar uma vazão de 19 L/s de querosene ($\nu = 3{,}0 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$) a uma distância de 600 metros, com uma perda de carga de 3,0 m.



Resposta: D=0,165 m

Exercícios propostos

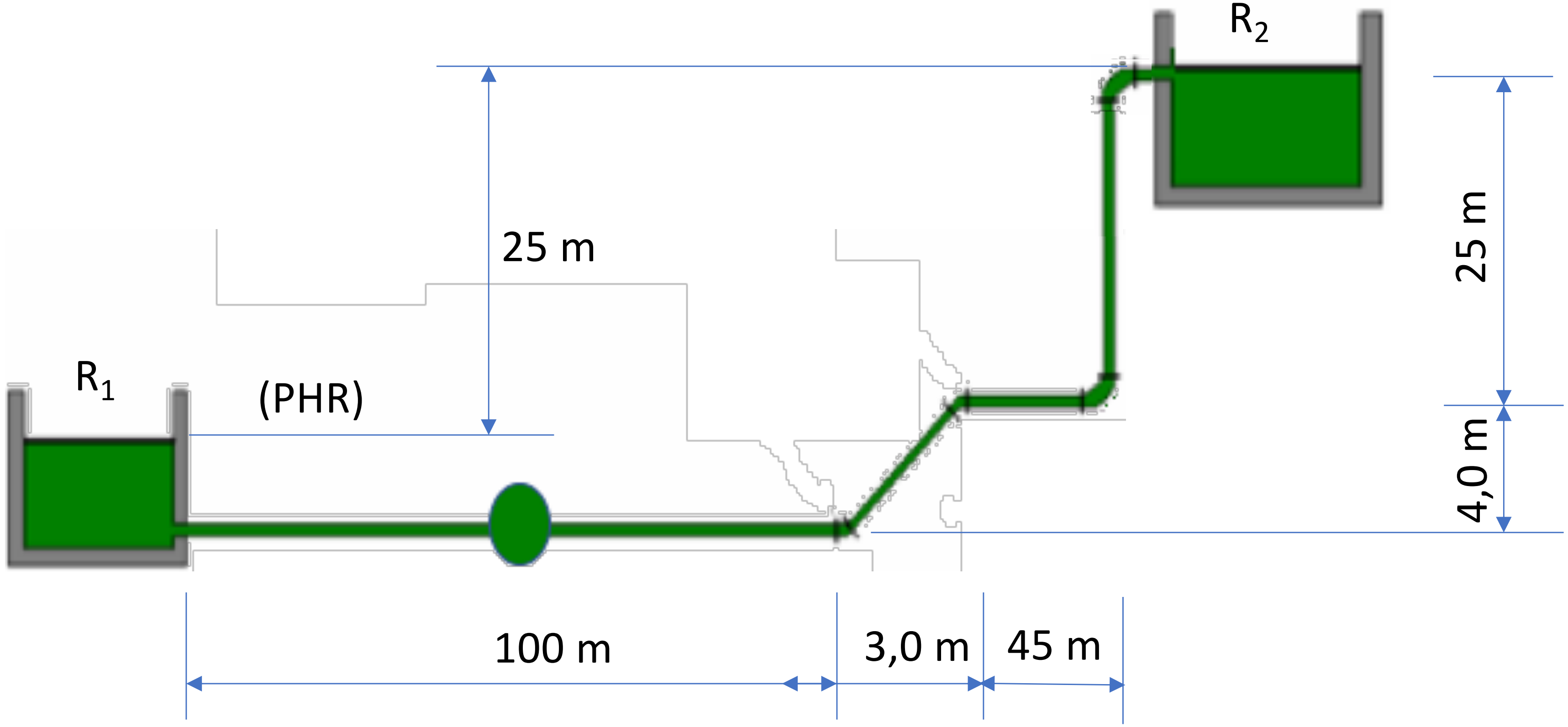
1. Um trecho de tubo de ferro galvanizado de 250 metros de comprimento conectará um reservatório a uma bomba. O tubo tem diâmetro interno de 15" e transportará querosene ($\nu = 3{,}0 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$) a uma vazão de 250 L/s. Determine a perda de carga nesse trecho da tubulação. Resposta: 2,89 m.

2. Calcular a vazão de água ($\gamma_{H_2O} = 10^4\ N/m^3;\ \nu = 0{,}7 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$) num conduto de PVC com 15 cm de diâmetro interno, sabendo-se que a diferença de pressão a uma distância de 100 m é de 20 KPa, com um desnível de 1,2 metro. Resposta: 23,3 L/s.

3. Um tubo de aço deverá transportar uma vazão de 9,0 L/s de água ($\nu = 0{,}7 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$) a uma distância de 800 metros, com uma perda de carga de 5,0 m. Calcular o diâmetro do tubo. Resposta: 0,113 m.

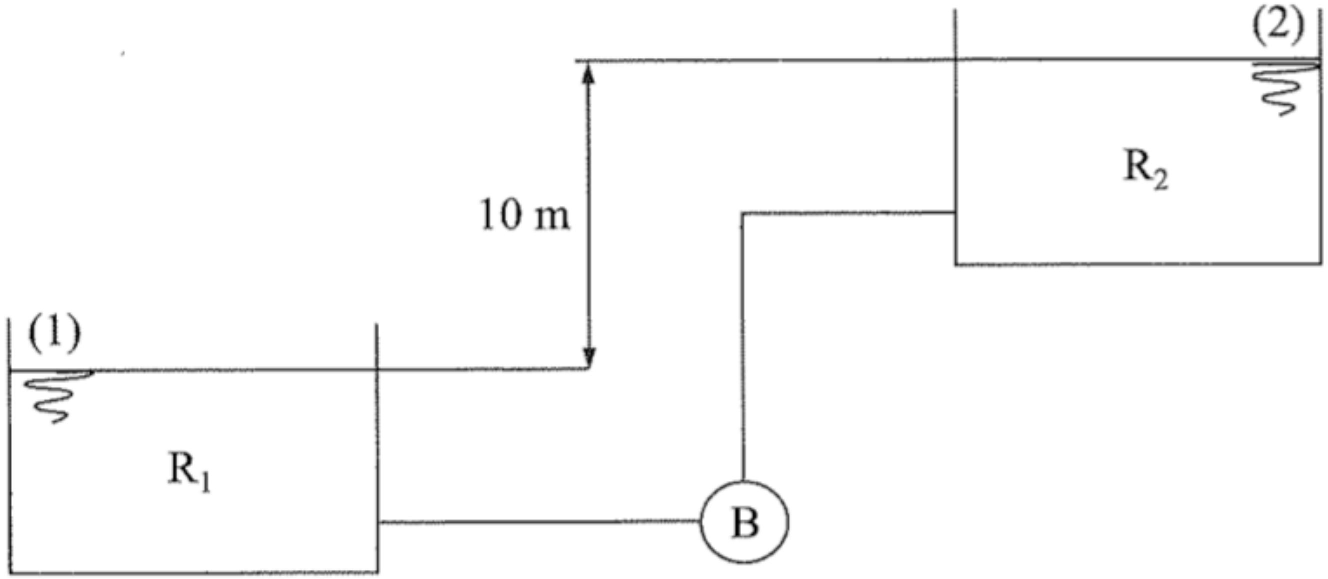
Aplicação

Na instalação da figura, a bomba recalca água do reservatório R_1 para o reservatório R_2, ambos em nível constante com uma vazão de 4,5 L/s. Considerando as perdas distribuídas, determinar a potência da bomba em kW sabendo que o rendimento é de 75 %. Dados: D=2”; tubos de ferro galvanizados; $\nu=10^{-6}$ m^2/s; $\gamma=10^4$ N/m^3.



Exercício proposto

Na instalação da figura, a bomba B recalca água do reservatório R_1 para o reservatório R_2, ambos em nível constante. Considerando as perdas distribuídas, determinar a potência da bomba em kW se o rendimento é de 75 % para uma vazão de 20,5 L/s. Dados: D=10 cm; L=50 m, total; tubos de ferro fundido, k=2,5x10^{-4} m; $\nu=10^{-6}$ m^2/s; $\gamma=10^4$ N/m^3.



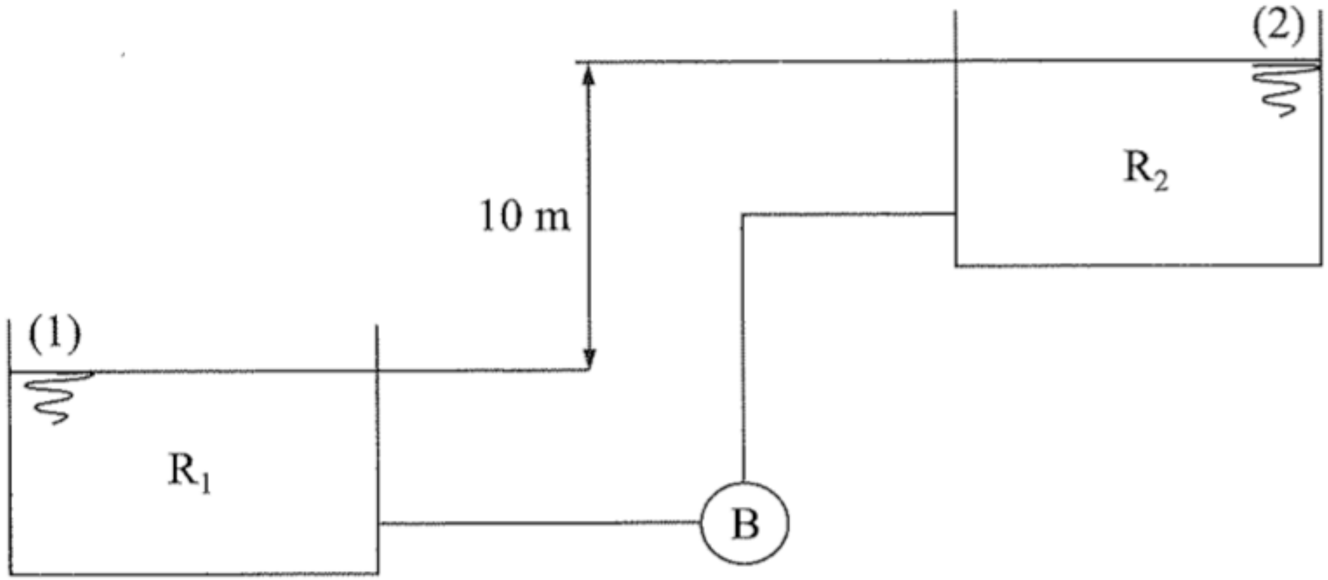
Resposta: 4,0 kW

Exercício proposto

Na instalação da figura, a bomba B recalca água do reservatório R_1 para o reservatório R_2, ambos em nível constante. Considerando uma perda de carga de 4,0 m, determinar:

- A vazão na tubulação;
- A potência da bomba em kW se o rendimento é de 75 %.

Dados: D=10 cm; L=50 m, total; tubos de ferro fundido, $k=2{,}5\times10^{-4}$ m; $\nu=10^{-6}$ m^2/s; $\gamma=10^4$ N/m^3.



Resposta: 20,5 L/s; 4,0 kW

Resumo

- Diâmetro hidráulico:

$$R_H = \frac{A}{P} \qquad D_H = 4 \cdot R_H$$

- Equação de Darcy-Weissbach para perda de carga

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

- Coeficiente de perda

$$f = f\left(Re, \frac{D_H}{\varepsilon}\right)$$

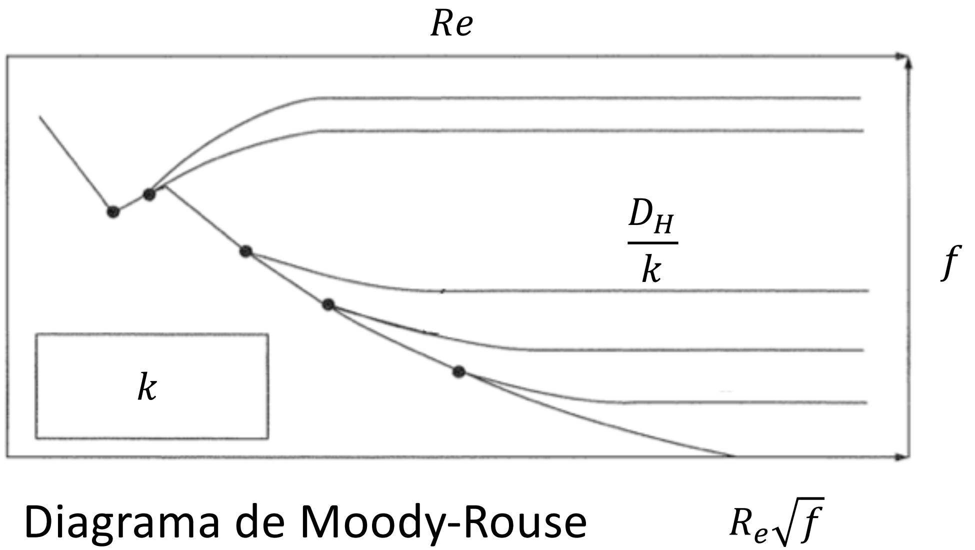


Diagrama de Moody-Rouse