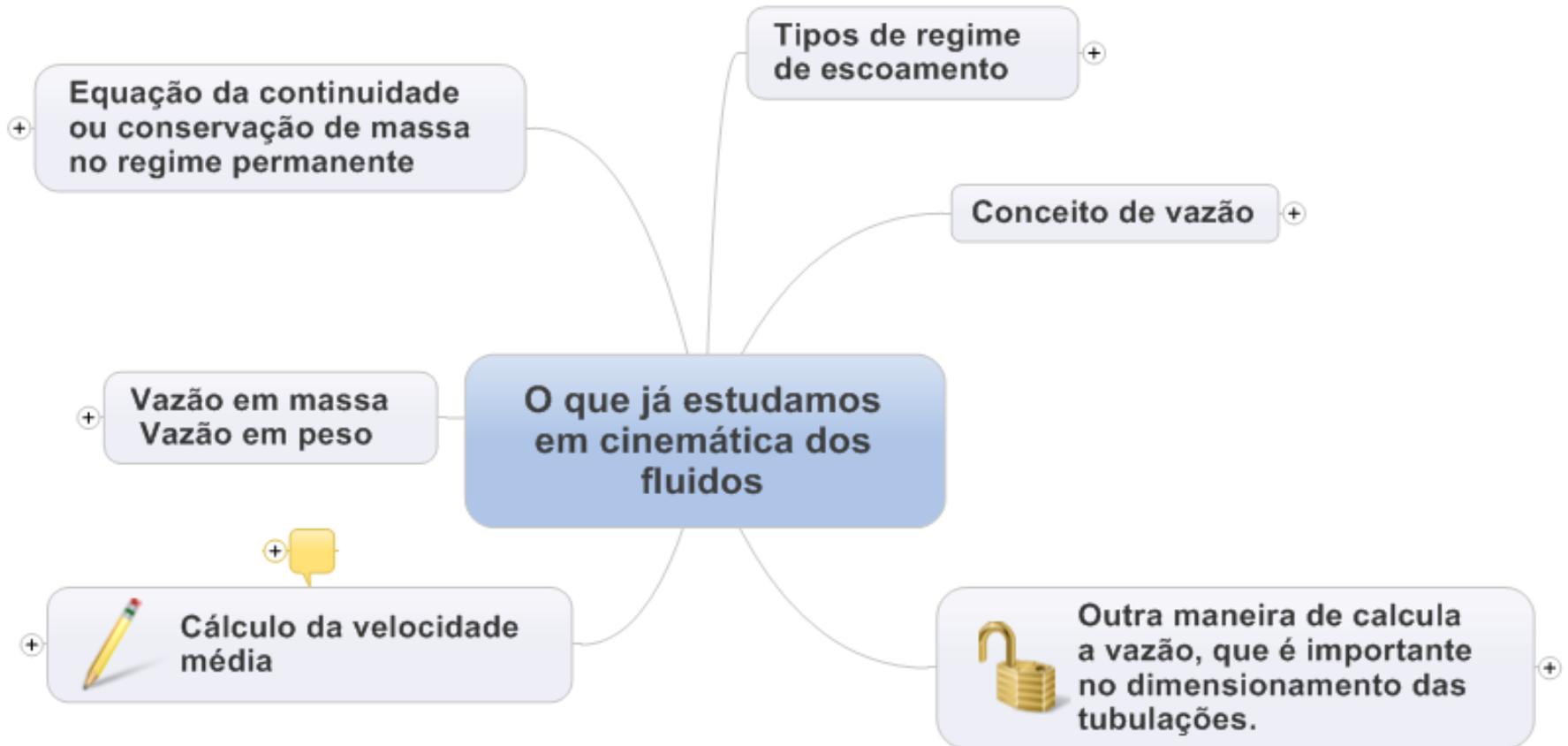


Décima terceira aula de FT

Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio

CINEMÁTICA DOS FLUIDOS

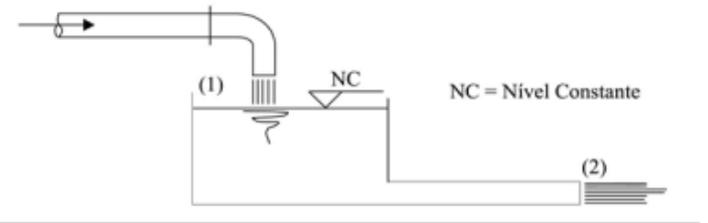


CINEMÁTICA DOS FLUIDOS

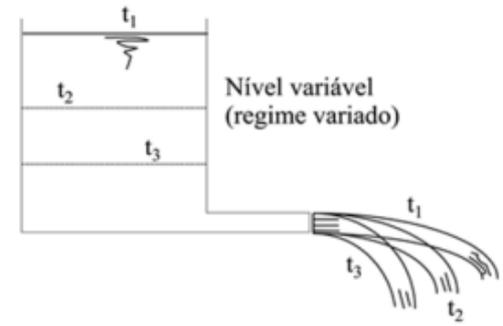
Tipos de regime de escoamento



regime permanente

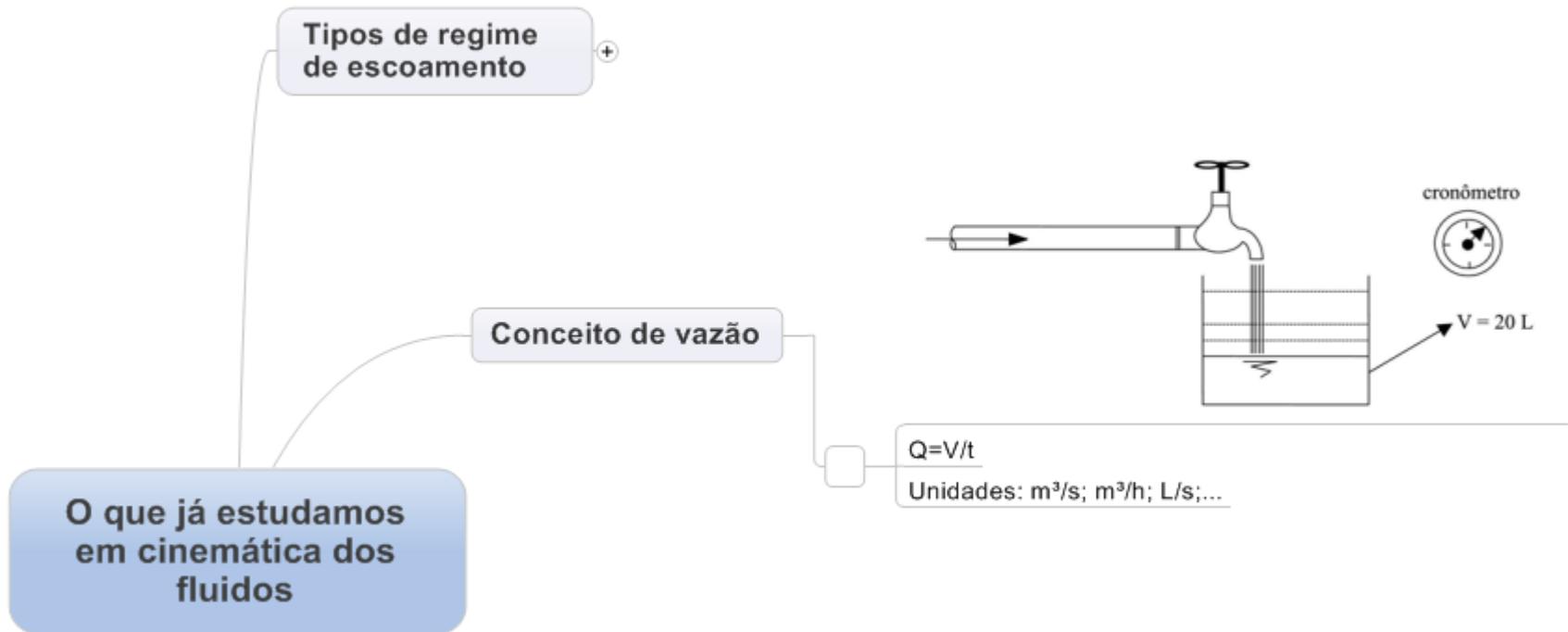


regime variado

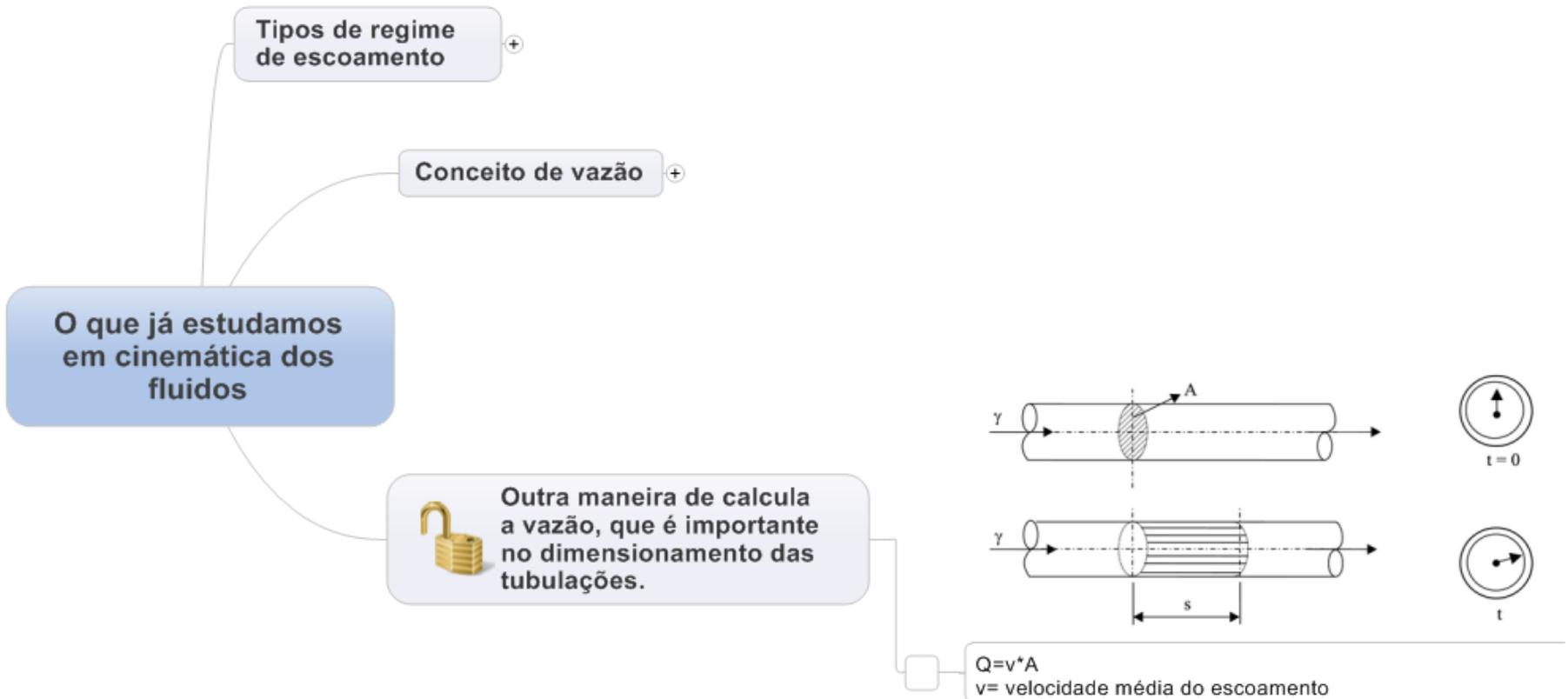


O que já estudamos em cinemática dos fluidos

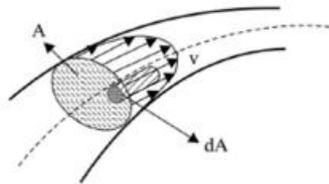
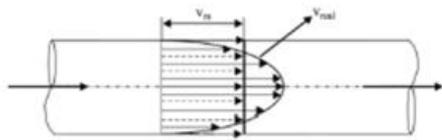
CINEMÁTICA DOS FLUIDOS



CINEMÁTICA DOS FLUIDOS



CINEMÁTICA DOS FLUIDOS



Considera-se um dA onde se tem uma única velocidade o que possibilita escrever:

$$dQ = v \times dA$$

O que já estudamos em cinemática dos fluidos

Tipos de regime de escoamento +

Conceito de vazão +

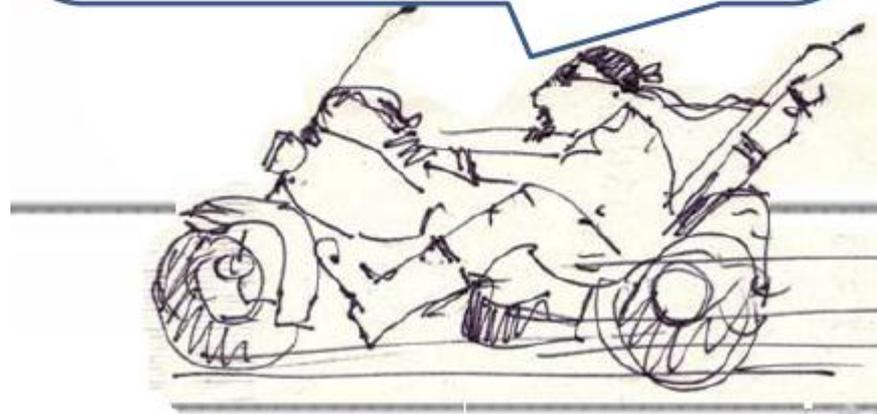
 Cálculo da velocidade média

 Outra maneira de calcular a vazão, que é importante no dimensionamento das tubulações. +

CALCULANDO A VELOCIDADE MÉDIA

$$Q = v_{\text{média}} \times A = \int_A v \times dA$$

$$\therefore v_{\text{média}} = \frac{1}{A} \times \int_A v \times dA$$



CINEMÁTICA DOS FLUIDOS



Q_m → vazão em massa

$$Q_m = \frac{\text{massa}}{\text{tempo}} = \frac{m}{t}$$

Q_G → vazão em peso

$$Q_m = \frac{\text{peso}}{\text{tempo}} = \frac{G}{t}$$

Vazão em massa
Vazão em peso

Tipos de regime de escoamento

Conceito de vazão

O que já estudamos em cinemática dos fluidos

Outra maneira de calcular a vazão, que é importante no dimensionamento das tubulações.

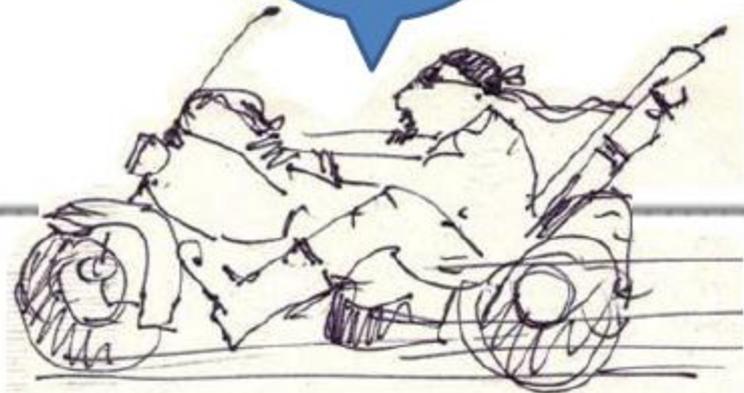
Cálculo da velocidade média

$$Q_m = \frac{m}{t} = \frac{\rho \times V}{t} = \rho \times Q$$

$$Q_G = \frac{G}{t} = \frac{\gamma \times V}{t} = \gamma \times Q$$

$$Q_G = \rho \times g \times Q$$

Relações



Unidades no SI, MK*S e CGS

| Variável | SI | MK*S | CGS |
|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Q | m ³ /s | m ³ /s | cm ³ /s |
| Q _m | kg/s | utm/s | g/s |
| Q _G | N/s | kgf/s | Dina/s |

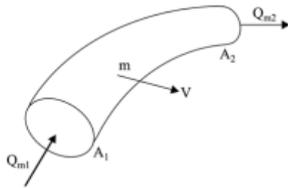
Relações:

$$1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 10^6 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 1000 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$1 \frac{\text{utm}}{\text{s}} = 9,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 9800 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

$$1 \frac{\text{kgf}}{\text{s}} = 9,8 \frac{\text{N}}{\text{s}} = 9,8 \times 10^5 \frac{\text{dina}}{\text{s}}$$

CINEMÁTICA DOS FLUIDOS



$$\sum_{\text{entram}} Q_{m_i} = \sum_{\text{saem}} Q_{m_j}$$
$$\sum_{\text{entram}} \rho_i \times Q_i = \sum_{\text{saem}} \rho_j \times Q_j$$
$$\sum_{\text{entram}} \rho_i \times v_i \times A_i = \sum_{\text{saem}} \rho_j \times v_j \times A_j$$

Na verdade a equação acima vale para um sistema com diversas entradas e diversas saídas.

Equação da continuidade ou conservação de massa no regime permanente

Tipos de regime de escoamento

Conceito de vazão

O que já estudamos em cinemática dos fluidos

Vazão em massa
Vazão em peso

Outra maneira de calcular a vazão, que é importante no dimensionamento das tubulações.

Cálculo da velocidade média

Para uma entrada e uma saída, temos:

$$Q_{m_{\text{entra}}} = Q_{m_{\text{saí}}}$$

$$\rho_{\text{entra}} \times Q_{\text{entra}} = \rho_{\text{saí}} \times Q_{\text{saí}}$$

$$\rho_{\text{entra}} \times v_{\text{entra}} \times A_{\text{entra}} = \rho_{\text{saí}} \times v_{\text{saí}} \times A_{\text{saí}}$$

Se for um fluido incompressível, temos:

$$\rho_{\text{entra}} = \rho_{\text{saí}} = \text{constante}$$

$$v_{\text{entra}} \times A_{\text{entra}} = v_{\text{saí}} \times A_{\text{saí}}$$

Insiste-se na idéia do regime permanente, já que a eliminação da variável tempo simplifica o estudo e a solução dos problemas e, de certa forma, resolve a maioria dos problemas práticos.

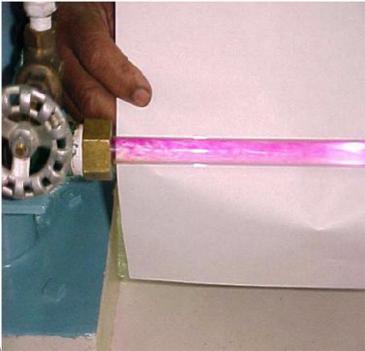
O aprofundamento do estudo será feito no Capítulo 10 da bibliografia básica, quando o leitor já tiver uma melhor compreensão do assunto, com as limitações impostas nos primeiros capítulos.



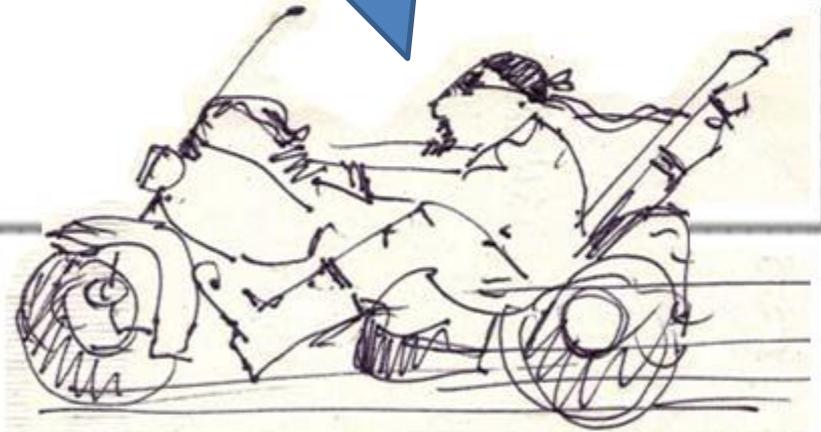
Vamos estudar agora
os escoamentos
laminar e turbulento

Que?

Para que?



Na verdade estaremos observando o deslocamento transversal de massa ao longo do escoamento!

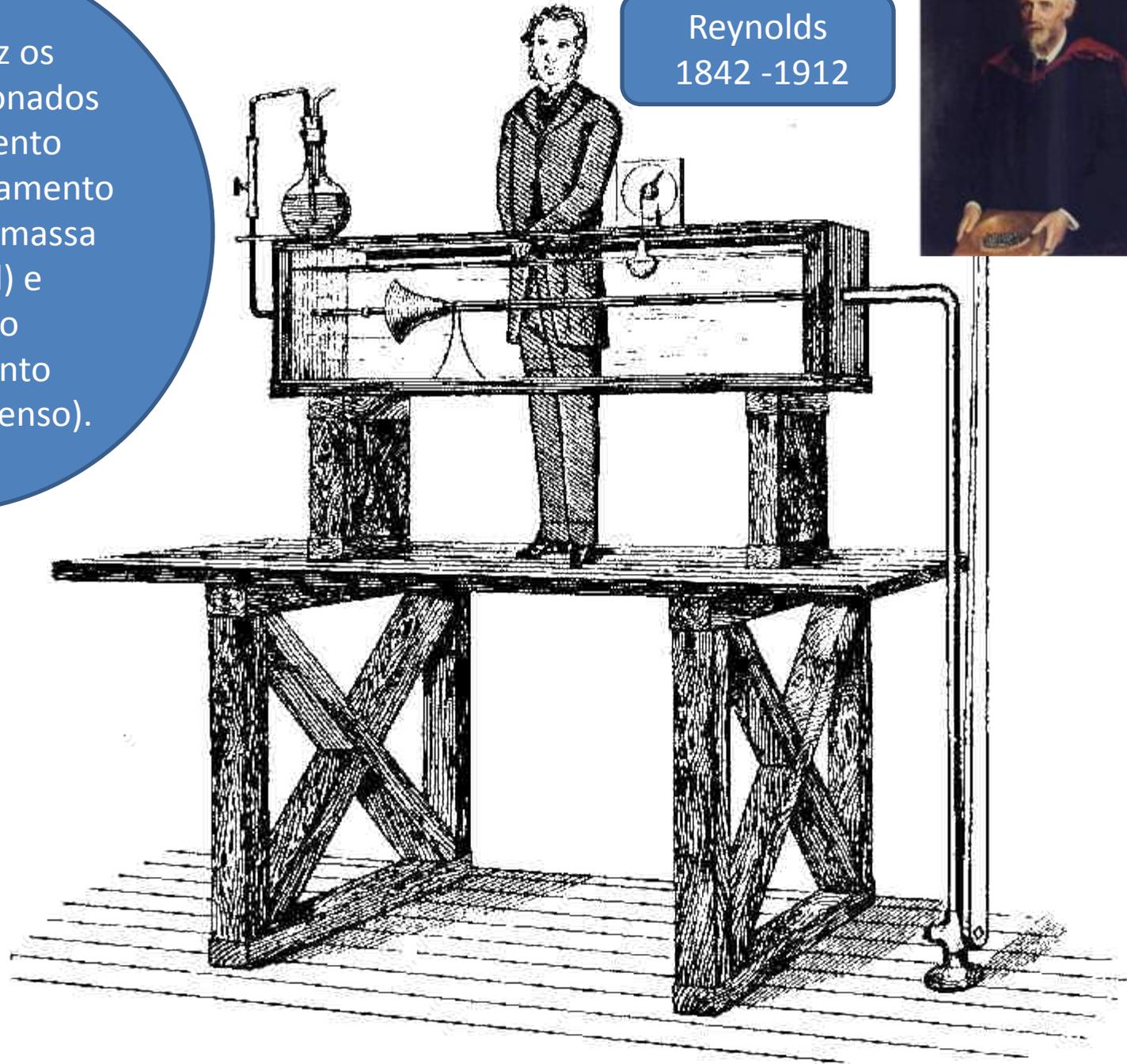


E isto vai influenciar na dissipação de energia ao longo do escoamento!

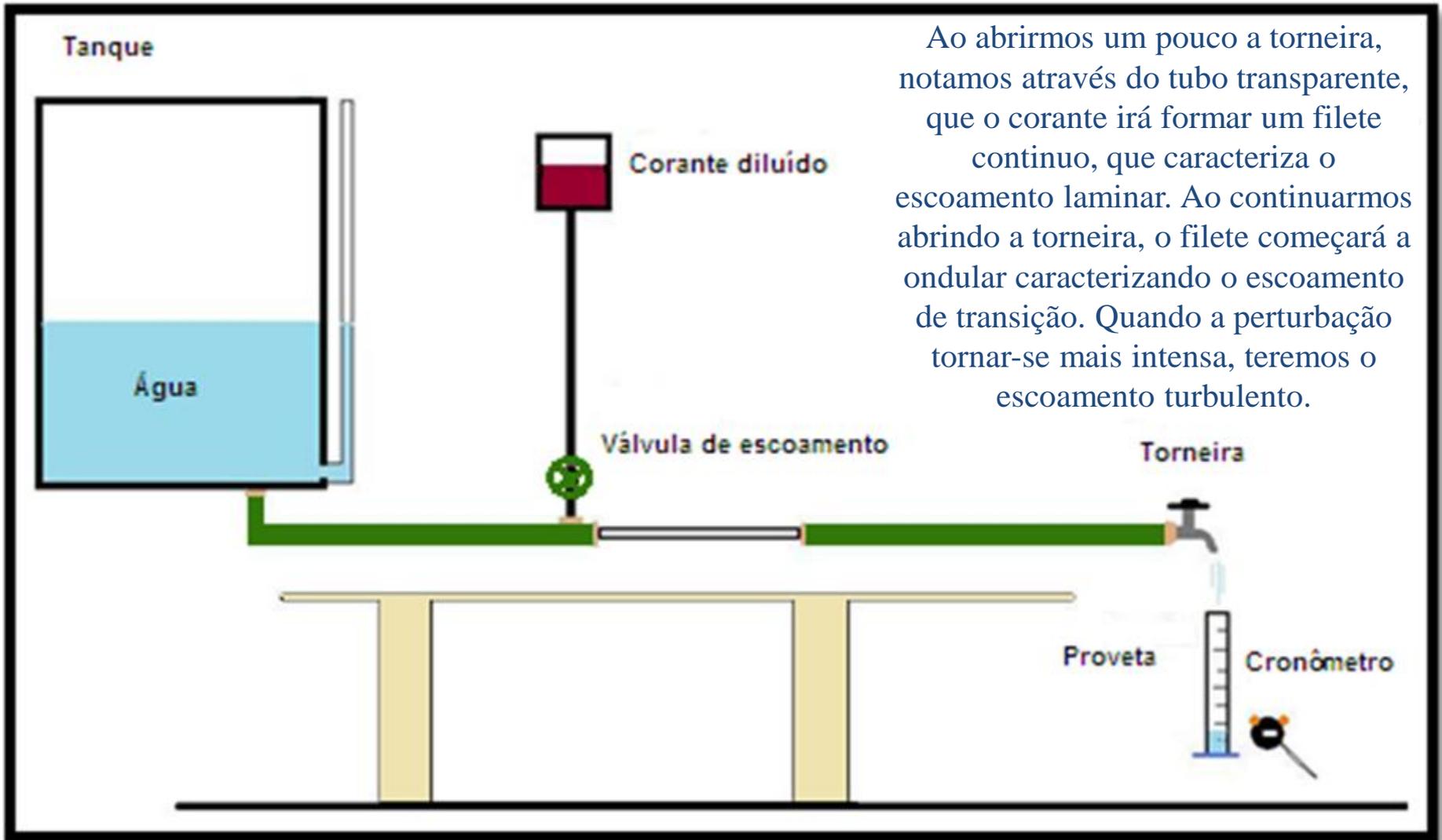


Reynolds fez os estudos relacionados aos escoamento laminar (deslocamento transversal de massa desprezível) e turbulento (deslocamento transversal intenso).

Reynolds
1842 -1912



Um exemplo de bancada atual está representado abaixo:



Ao abrimos um pouco a torneira, notamos através do tubo transparente, que o corante irá formar um filete contínuo, que caracteriza o escoamento laminar. Ao continuarmos abrindo a torneira, o filete começará a ondular caracterizando o escoamento de transição. Quando a perturbação tornar-se mais intensa, teremos o escoamento turbulento.

Reynolds observou que o fenômeno ensaiado, dependia das seguintes variáveis:

ρ - massa específica do fluido;

v - velocidade média do escoamento;

D - diâmetro interno da tubulação;

μ - viscosidade do fluido.

Através da análise adimensional ele obteve o chamado número de Reynolds (Re) e estabeleceu:

- para $Re \leq 2000$ - escoamento laminar;
- para $2000 < Re < 2400$ - escoamento de transição;
- para $Re \geq 2400$ - escoamento turbulento.

Hoje, considerando a ABNT, temos:

- para $Re \leq 2000$ - escoamento laminar;
- para $2000 < Re < 4000$ - escoamento de transição;
- para $Re \geq 4000$ - escoamento turbulento.

O Reynolds é calculado pela expressão ao lado:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_H}{\mu} = \frac{v \times D_H}{\nu}$$

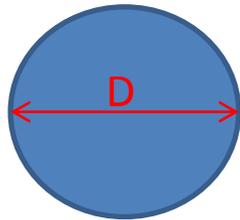
D_H = diâmetro hidráulico que tratando-se de um tubo de seção circular forçado é igual ao diâmetro interno do tubo.



Diâmetro hidráulico

$$D_H = 4 \times \frac{\text{área da seção formada pelo fluido (A)}}{\text{perímetro molhado (\sigma)}}$$

perímetro molhado (σ) = perímetro formado pelo contato do fluido com parede

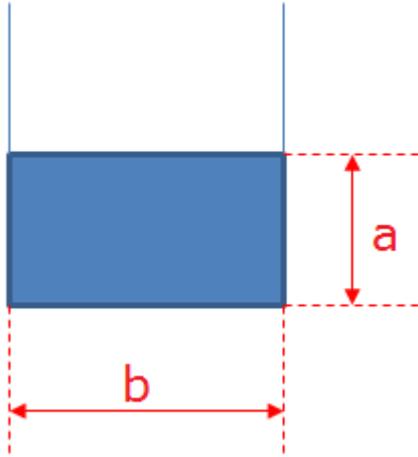


$$D_H = 4 \times \frac{\pi \times R^2}{2\pi \times R} = 2R = D$$

No conduto circular forçado tanto podemos trabalhar com o diâmetro interno como com o diâmetro hidráulico.



Outro exemplo de cálculo do diâmetro hidráulico:



$$D_H = 4 \times \frac{a \times b}{2a + b}$$

Calculado o diâmetro hidráulico podemos calcular o número de Reynolds e classificar o escoamento em laminar, transição ou turbulento.



Assista a experiência de Reynolds no YouTube.



Exercícios

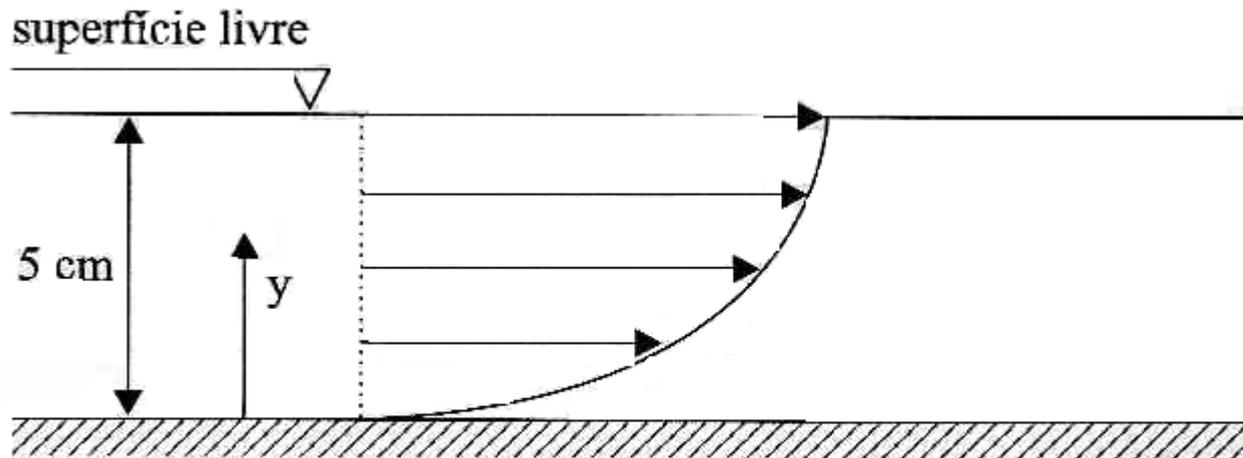
- 3.1 No escoamento laminar de um fluido em condutos circulares, o diagrama de velocidades é representado pela equação $v = v_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$, onde v_{\max} é a velocidade no eixo do conduto, R é o raio do conduto e r é um raio genérico para o qual a velocidade v é genérica. Verificar que $v_m/v_{\max} = 0,5$, onde v_m = velocidade média na seção.
- 3.2 No escoamento turbulento de um fluido em condutos circulares, o diagrama de velocidades é dado pela equação $v = v_{\max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{1/7}$, onde todas as grandezas têm o mesmo significado do Exercício 3.1. Verificar que $v_m/v_{\max} = 49/60$.

Os exercícios 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6 foram propostos na aula anterior.



Exercícios

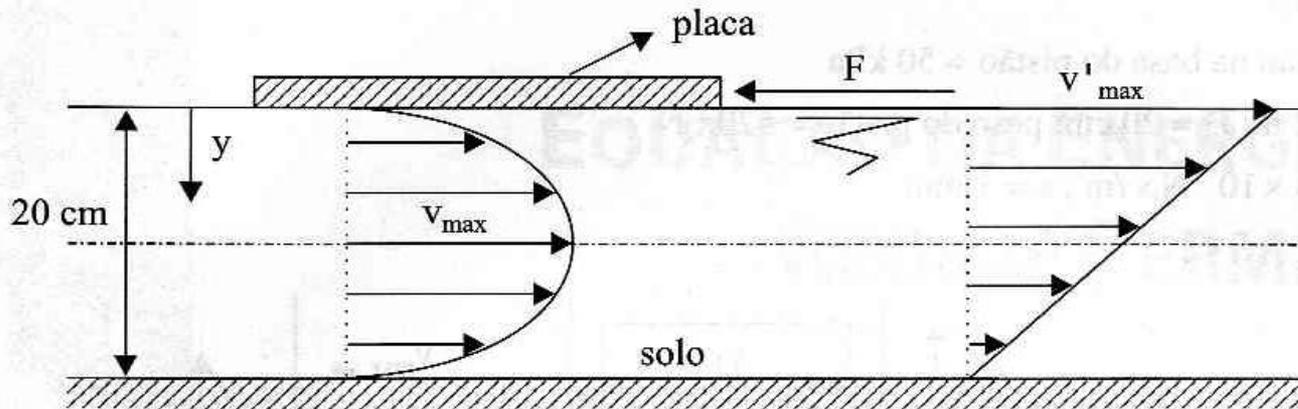
- 3.14 O esquema a seguir corresponde à seção longitudinal de um canal de 25 cm de largura. Admitindo escoamento bidimensional e sendo o diagrama de velocidades dado por $v = 30y - y^2$ (y em cm; v em cm/s), bem como o fluido de peso específico: $0,9 \text{ N/L}$ e viscosidade cinemática: 70 cSt e $g = 10 \text{ m/s}^2$, determinar:
- o gradiente de velocidade para $y = 2 \text{ cm}$;
 - a máxima tensão de cisalhamento na seção (N/m^2);
 - a velocidade média na seção em cm/s;
 - a vazão em massa na seção.



Resp.: a) 26 s^{-2} ; b) $1,89 \text{ N/m}^2$; c) $66,7 \text{ cm/s}$; d) $7,354 \text{ kg/s}$

Exercícios

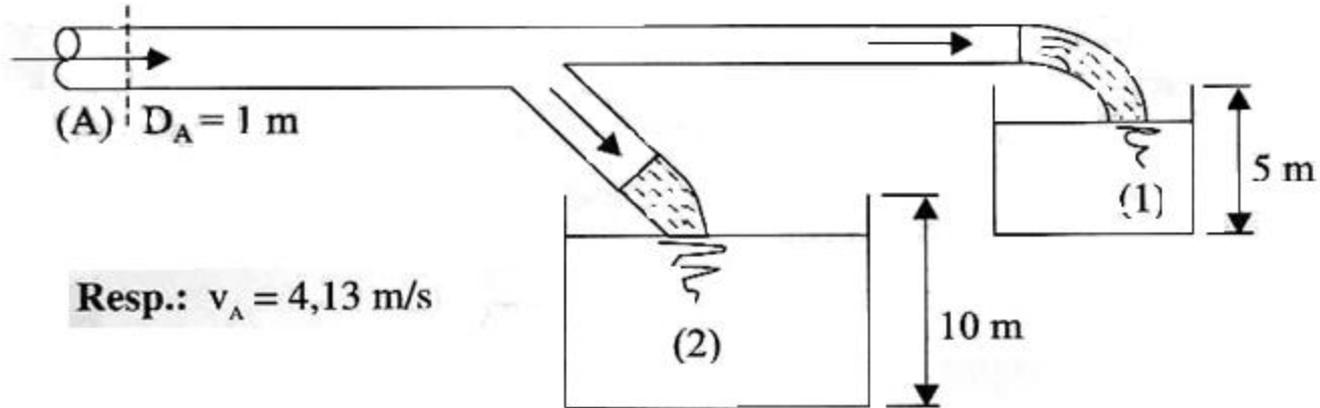
- 3.16 A placa da figura tem uma área de 2 m^2 e espessura desprezível. Entre a placa e o solo existe um fluido que escoar formando um diagrama de velocidades bidimensional dado por $v = 20y v_{\text{max}} (1 - 5y)$. A viscosidade dinâmica do fluido é $10^{-2} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ e a velocidade máxima é 2 m/s .
- Qual é o gradiente de velocidade junto ao solo?
 - Qual é a força necessária para manter a placa em equilíbrio estático?
 - Qual é a velocidade média?
 - Fora do contato da placa, o diagrama de velocidades é considerado linear bidimensional. Qual é a velocidade máxima?



Resp.: a) -40 s^{-1} ; $0,8 \text{ N}$; c) $1,33 \text{ m/s}$; d) $2,66 \text{ m/s}$

Exercícios

- 3.9 Os reservatórios da figura são cúbicos. São enchidos pelos tubos, respectivamente, em 100 s e 500 s. Determinar a velocidade da água na seção (A), sabendo que o diâmetro do conduto nessa seção é 1 m.



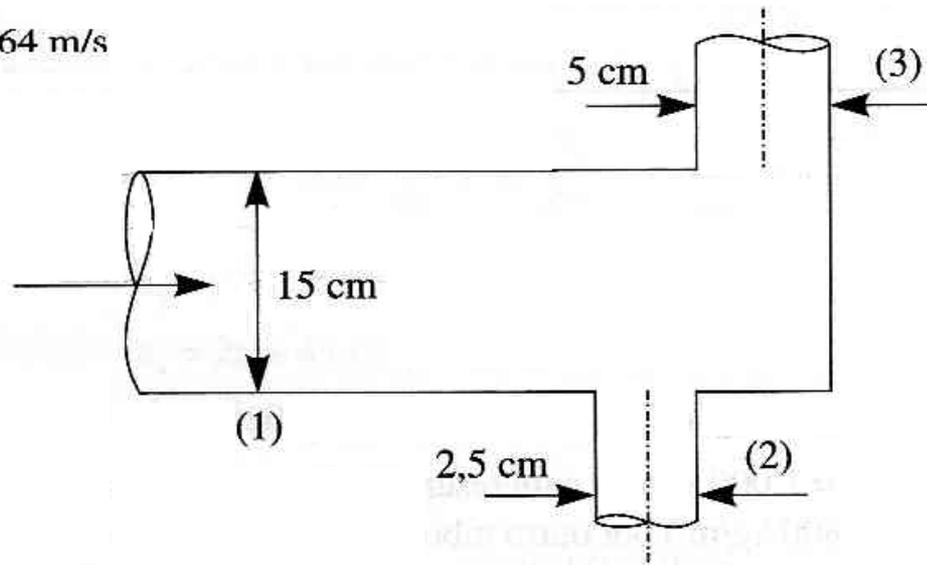
Resp.: $v_A = 4,13 \text{ m/s}$

Exercícios

3.10 A água escoar por um conduto que possui dois ramais em derivação. O diâmetro do conduto principal é 15 cm e os das derivações são 2,5 cm e 5 cm, respectivamente. O perfil das velocidades no conduto principal é dado por: $v = v_{\max_1} \left[1 - \left(\frac{r}{R_1} \right)^2 \right]$ e nas derivações por: $v = v_{\max_{2,3}} \left(1 - \frac{r}{R_{2,3}} \right)^{1/7}$

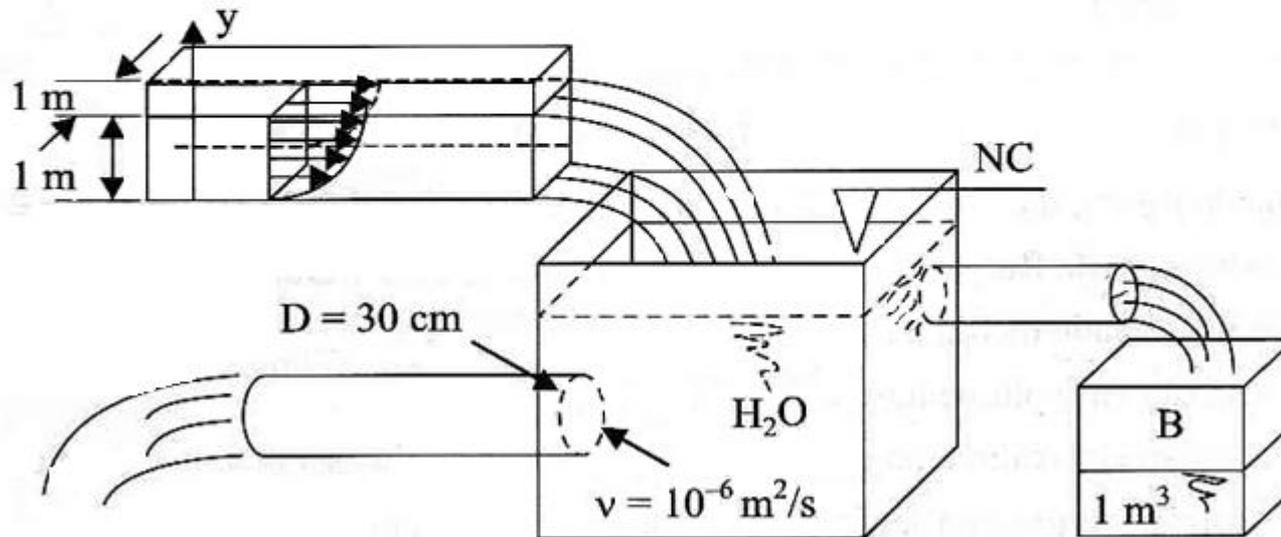
Se $v_{\max_1} = 0,02$ m/s e $v_{\max_2} = 0,13$ m/s, determinar a velocidade média no tubo de 5 cm de diâmetro. (R_i = raio da seção A_i)

Resp.: $v_3 = 0,064$ m/s



Exercícios

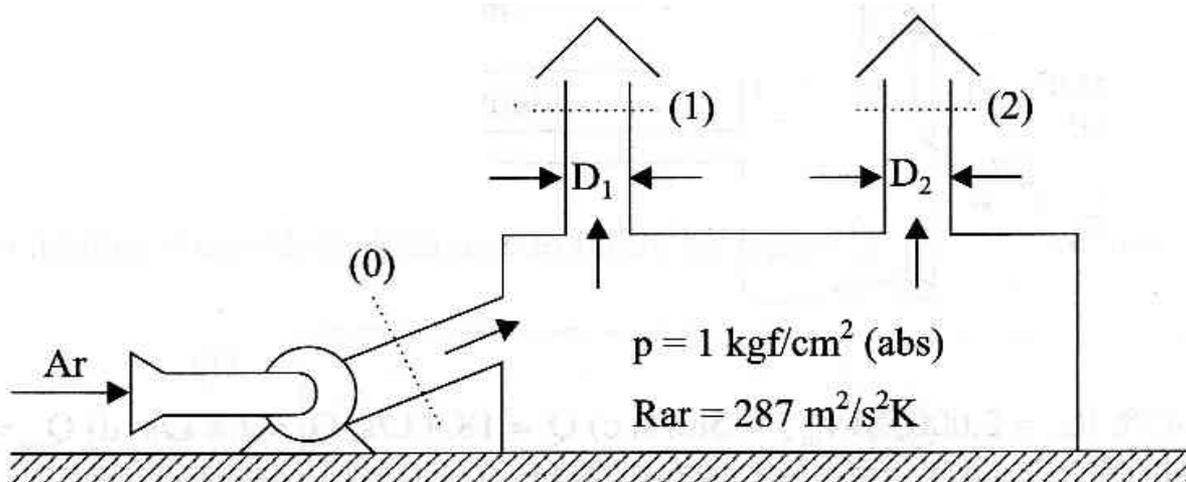
- 3.12 O tanque maior da figura abaixo permanece em nível constante. O escoamento na calha tem uma seção transversal quadrada e é bidimensional, obedecendo à equação $v = 3y^2$. Sabendo que o tanque (B) tem 1 m^3 e é totalmente preenchido em 5 segundos e que o conduto circular tem 30 cm de diâmetro, determinar:
- Qual é a velocidade média na calha quadrada?
 - Qual é a vazão no conduto circular de 30 cm de diâmetro?
 - Qual é a velocidade máxima na seção do conduto circular de 30 cm de diâmetro?



Resp.: a) 1 m/s; b) $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$; c) 13,86 m/s

Exercícios

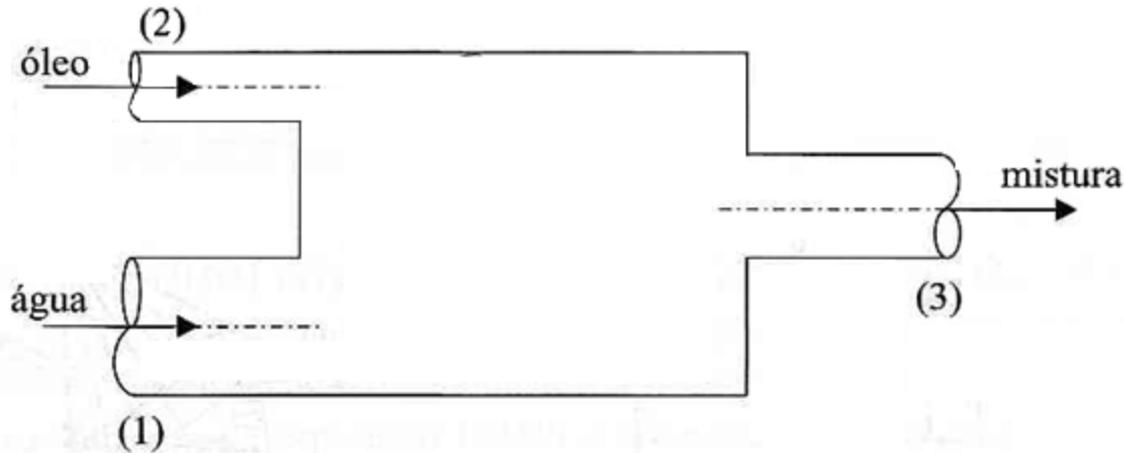
- 3.13** O insuflador de ar da figura a seguir gera $16.200 \text{ m}^3/\text{h}$ na seção (0) com uma velocidade média de $9,23 \text{ m/s}$. Foram medidas as temperaturas nas seções (0), (1) e (2), sendo, respectivamente, $t_0 = 17^\circ\text{C}$; $t_1 = 47^\circ\text{C}$ e $t_2 = 97^\circ\text{C}$. Admitindo como imposição do projeto do sistema que o número de Reynolds nas seções (1) e (2) deva ser 10^5 e sabendo que diâmetro $D_2 = 80 \text{ cm}$; $\nu_{\text{ar}} = 8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ e que a pressão tem variação desprezível no sistema, determinar:
- o diâmetro da seção (1);
 - as vazões em volume em (1) e (2);
 - as vazões em massa em (1) e (2).



Resp. a) $0,097 \text{ m}$; b) $Q_1 = 0,611 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_2 = 5,021 \text{ m}^3/\text{s}$; c) $Q_{m1} = 0,66 \text{ kg/s}$; $Q_{m2} = 4,73 \text{ kg/s}$

Exercícios

- 3.7 Um tubo admite água ($\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$) num reservatório com uma vazão de 20 L/s. No mesmo reservatório é trazido óleo ($\rho = 800 \text{ kg/m}^3$) por outro tubo com uma vazão de 10 L/s. A mistura homogênea formada é descarregada por um tubo cuja seção tem uma área de 30 cm^2 . Determinar a massa específica da mistura no tubo de descarga e a velocidade da mesma.



Resp.: $\rho_3 = 933 \text{ kg/m}^3$; $v_3 = 10 \text{ m/s}$