



A resignação é o troféu conquistado por aqueles que vivem de suas derrotas.

Raimundo (Alemão)
Ferreira Ignácio

O cãozinho chamado Alemão nasceu com **HIDROCEFALIA** (acúmulo excessivo de líquido cefalorraquidiano dentro do crânio, que leva ao inchaço cerebral) e mesmo contra os diagnósticos conviveu comigo durante 3 anos, nos quais me ensinou muitas coisas, entre elas de não aceitar a resignação.

Apresento a solução do **problema 73**, cujos dados foram extraídos do vídeo publicado no canal Alemão MecFlu Resolve: <https://youtu.be/liXSKua25G4>.

a): Calcular o número de Reynolds e através dele classificar o escoamento incompressível em regime permanente e comparar a classificação obtida com a visualizada.



$$V = 50\text{mL}$$

$$t = 16,41\text{s}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{50}{16,41} \cong 3,1 \frac{\text{mL}}{\text{s}} = 3,1 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



$$Q = v \times A \Rightarrow 3,1 \times 10^{-6} = v \times \frac{\pi \times (0,01)^2}{4}$$

$$v \cong 0,0395 \frac{\text{m}}{\text{s}} \therefore \text{Re} = \frac{0,0395 \times 0,01}{10^{-6}} \cong 395$$

$$\text{Re} < 2000 \Rightarrow \text{escoamento laminar}$$

$$\therefore \text{observado igual ao calculado}$$

b: Calcular o número de Reynolds e através dele classificar o escoamento incompressível em regime permanente e comparar a classificação obtida com a visualizada.



$$V = 550 \text{ mL}$$

$$t = 5,46 \text{ s}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{550}{5,46} \cong 100,7 \frac{\text{mL}}{\text{s}} = 1,01 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = v \times A \Rightarrow 1,01 \times 10^{-4} = v \times \frac{\pi \times (0,01)^2}{4}$$

$$v \cong 1,29 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \therefore \text{Re} = \frac{1,3 \times 0,01}{10^{-6}} \cong 13000$$

$$\text{Re} > 4000 \Rightarrow \text{escoamento turbulento}$$

observado igual ao calculado



1.1. Diâmetro hidráulico (D_H)

No intuito de generalizar as equações estabelecidas para condutos forçados (fluido tem contato total com a parede interno do conduto) e de seção transversal circular, foi introduzido o conceito de diâmetro hidráulico que é definido pela equação 30.

$$D_H = 4 \times R_H \quad \text{equação 30}$$

Onde R_H é o raio hidráulico que é definido pela equação 31.

$$R_H = \frac{A}{\sigma} = \frac{\text{área da seção formada pelo fluido}}{\text{perímetro molhado}} \quad \text{equação 31}$$

Observações:

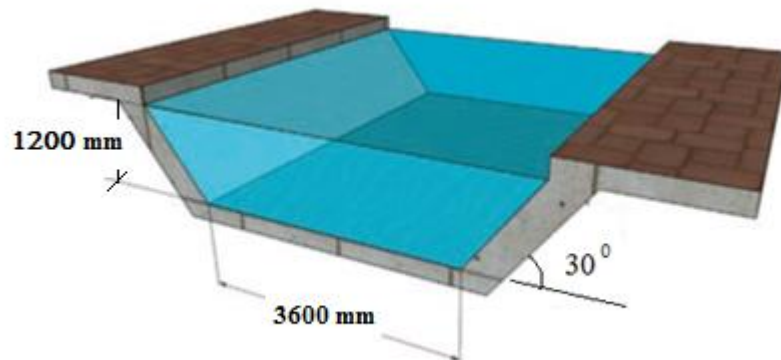
- perímetro molhado é caracterizado pelo contato do fluido com parede sólida;
- na seção circular forçada o diâmetro hidráulico é igual ao diâmetro interno, como mostra a seguir:

$$D_H = 4 \times \frac{\pi R^2}{2\pi R} = 2R = D, \quad \text{portanto podemos substituir os}$$

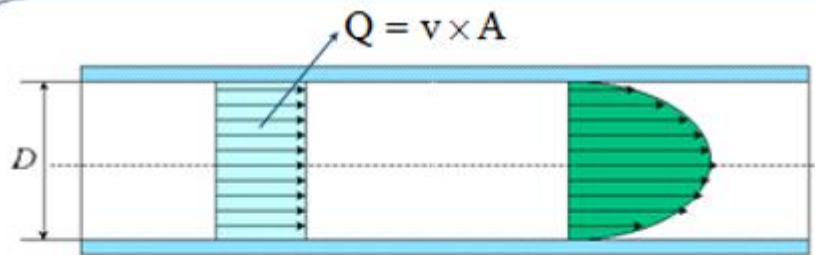
diâmetros (D) das equações pelos diâmetros hidráulicos (D_H) e nada se altera.

Exercício 74: Considerando que a vazão de água ($\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3$ e $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) que passa no canal cuja seção transversal é representada a seguir é igual a $13628,3 \text{ L/s}$ e que o diâmetro hidráulico é um parâmetro importante no dimensionamento de canais, tubos, dutos e outros componentes das obras hidráulicas sendo igual a quatro (4) vezes à razão entre a área da seção transversal formada pelo fluido e o perímetro molhado, pede-se:

- a. o diâmetro e o raio hidráulico do canal;
- b. o número de Reynolds e a classificação do escoamento na seção considerada



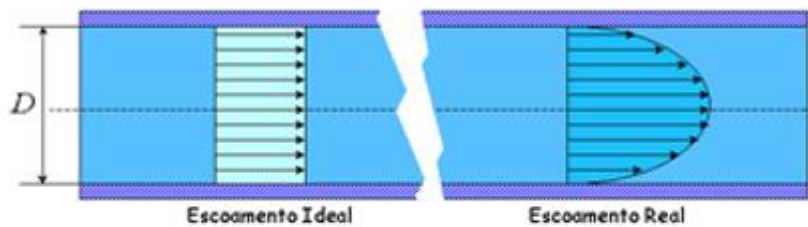
1.2. Cálculo da velocidade média para o escoamento laminar e turbulento

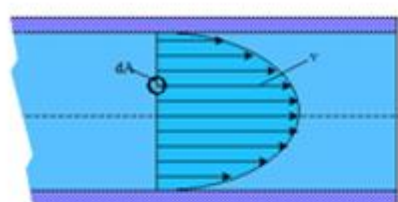


Qual dos dois diagramas é o verdadeiro? E como é originado?



Pelo princípio de aderência, temos:





Escoamento Real

$$dA \Rightarrow dq$$

$$dq = v \times dA \therefore \begin{cases} Q = \int_A v \times dA \rightarrow v = f(r) \\ Q \cong \sum dq \end{cases}$$

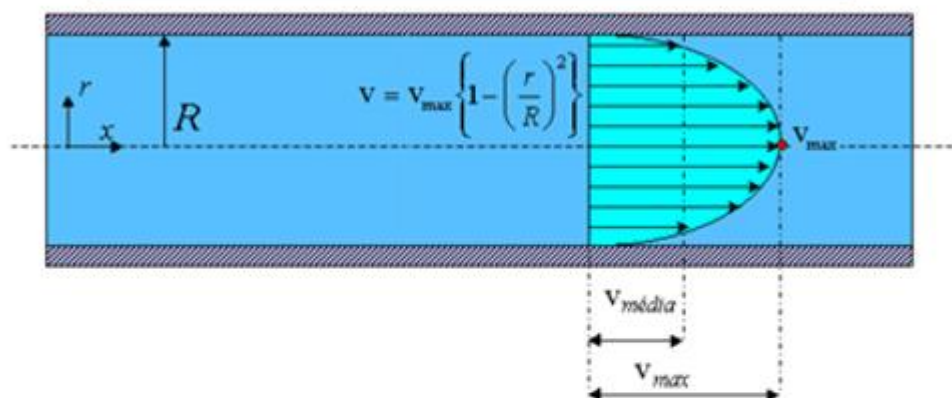
Cálculo da vazão em
uma seção do
escoamento.



E para isto,
devemos saber
se o escoamento
é laminar ou
turbulento!



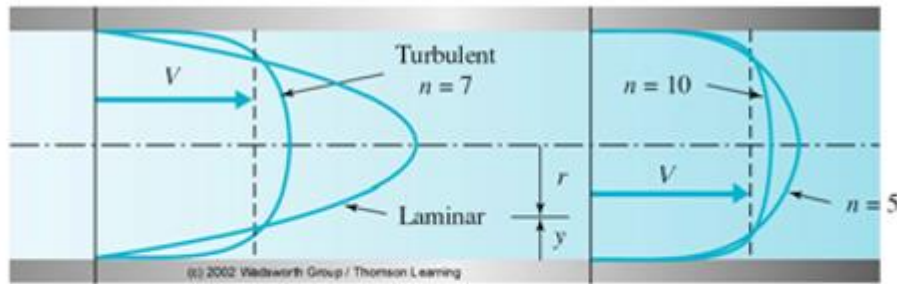
Escoamento laminar em um conduto forçado de seção circular



$$v_{\text{média}} = \frac{1}{\pi \times R^2} \times \int_0^R \left[v_{\text{max}} \times \left(\frac{R^2 - r^2}{R^2} \right) \right] \times 2\pi \times r \times dr$$

$$v_{\text{média}} = \frac{v_{\text{máx}}}{2}$$

Escoamento turbulento em um conduto forçado de seção circular



$$v = v_{\max} \times \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7}$$

$$v_{\text{média}} = \frac{1}{\pi \times R^2} \times \int_0^R \left[v_{\max} \times \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7} \right] \times 2\pi \times r \times dr$$

$$v_{\text{média}} = \frac{49}{60} \times v_{\max}$$

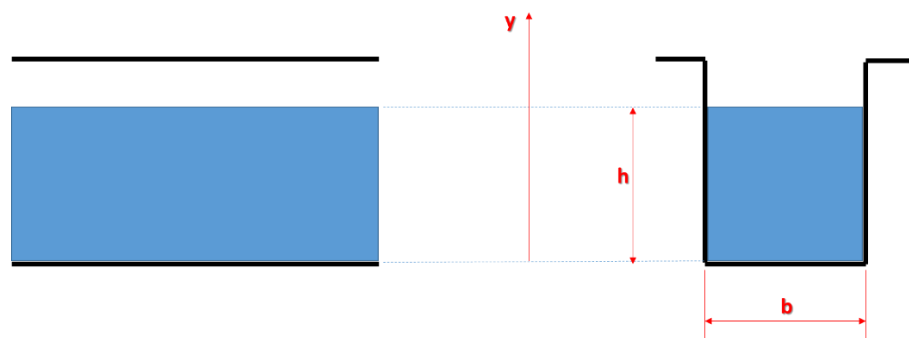
No caso de não ser um conduto forçado de seção circular a vazão e a velocidade média são calculadas pelas equações 32 e 33 respectivamente:

$$v_{\text{média}} = \frac{1}{A} \times \int_A v \times dA = \frac{1}{A} \times \int_A (\text{função da velocidade}) \times dA \quad \text{equação 32}$$

$$Q = \int_A v \times dA = \int_A (\text{função da velocidade}) \times dA \quad \text{equação 33}$$

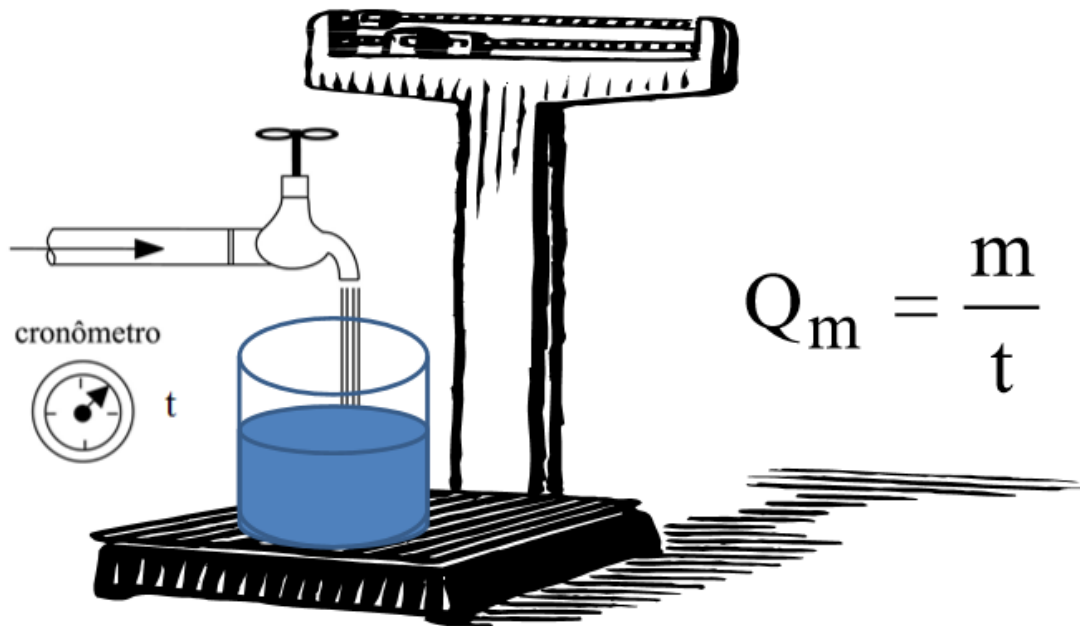
Exercício 75: Um canal retangular de largura $b = 2$ m, a altura do fluido (h) é de 1,5 m. o diagrama de velocidade em função de uma coordenada (y) perpendicular à base é $v = C_1 y^3 + C_2 y$ com $[v]$ em “m/s” e $[y]$ em “m”, sabe-se que na superfície livre do fluido a velocidade é 4 m/s e a 0,5 m do fundo é 1 m/s. nesta situação pede-se a vazão no canal. Veja a solução no canal do YouTube Alemão MecFlu Resolve:

<https://www.youtube.com/watch?v=2xidrb1hafc>



1.3. Vazão em massa (Q_m)

Fluxo de massa, ou vazão em massa, é a quantidade em massa do fluido que atravessa uma área A em um intervalo de tempo t .



Evocando o conceito de massa específica e sabendo que é considerada constante, podemos escrever:

$$\rho = \frac{m}{V} \therefore m = \rho \times V$$

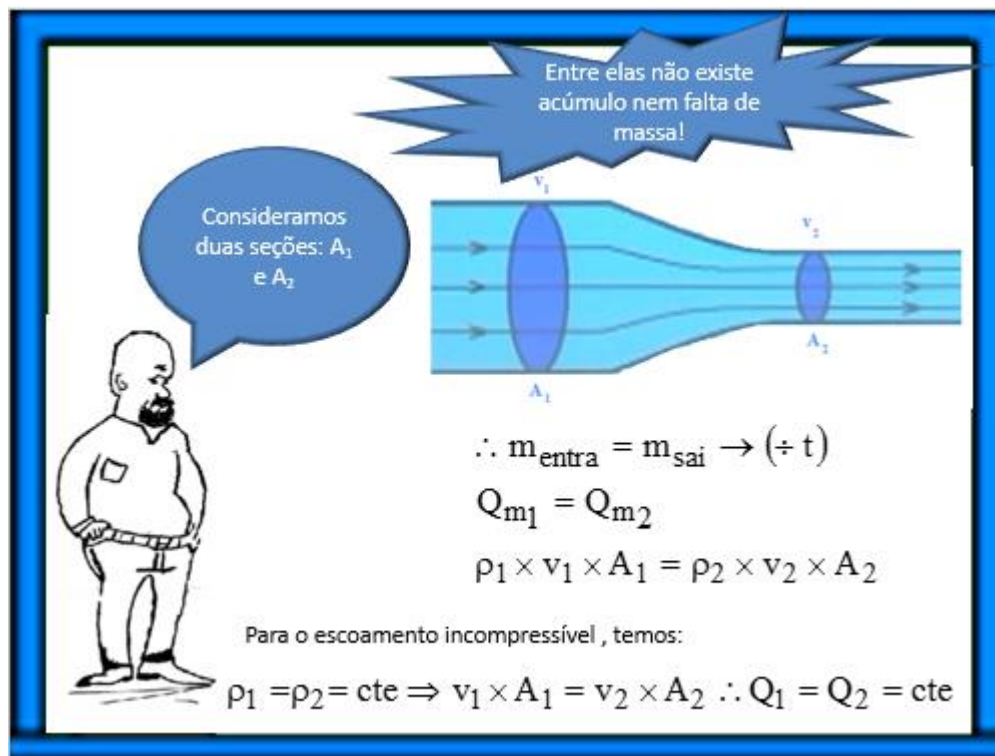
$$Q_m = \frac{m}{t} = \frac{\rho \times V}{t} = \rho \times Q$$

$$Q_m = \rho \times v \times A$$

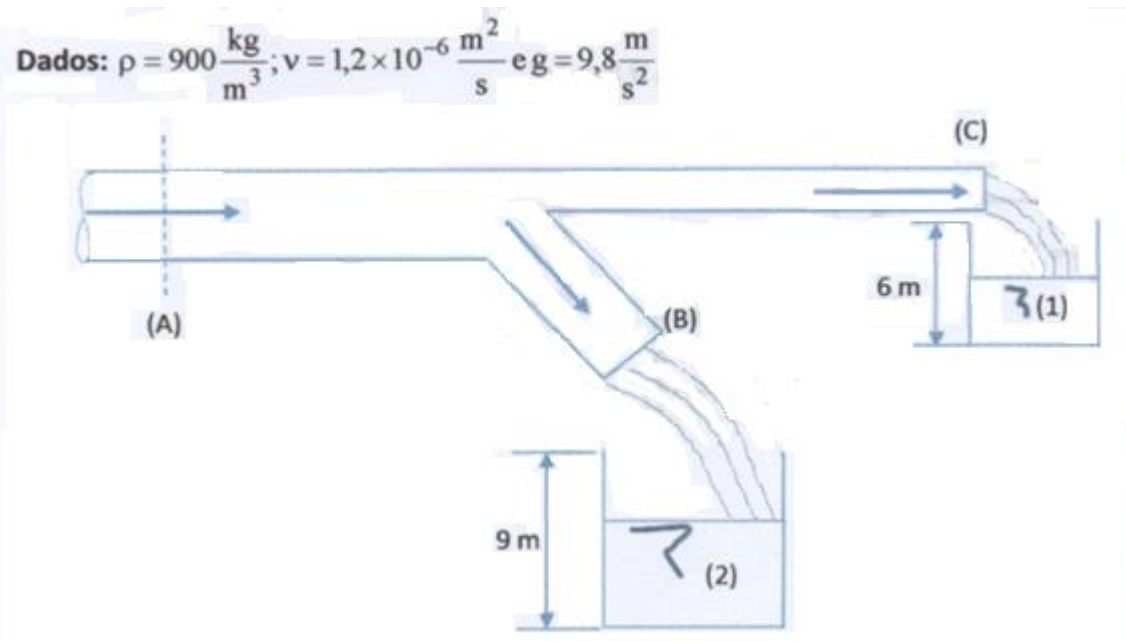
Agora podemos pensar em escrever a equação da conservação de massa!



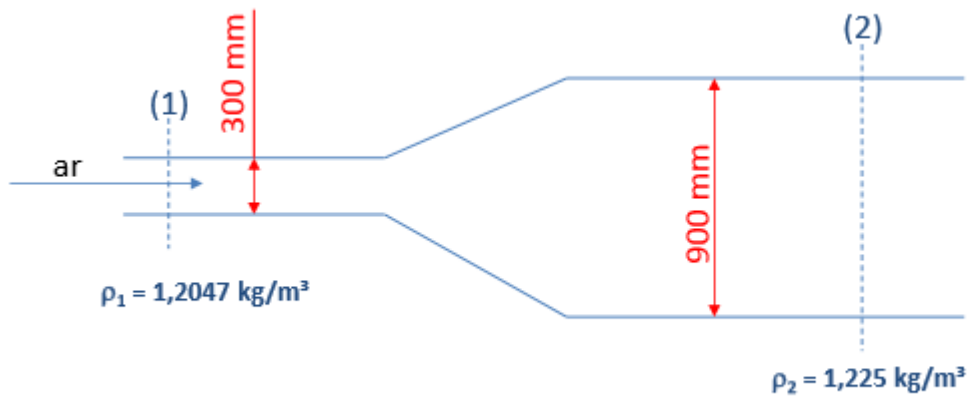
1.4. Equação da conservação em massa ou equação da continuidade



Exercício 76: Os reservatórios da figura a seguir são cúbicos. Sabendo que o número de Reynolds na seção A é $3,6 \times 10^6$, que o diâmetro nessa seção, que é circular e forçada, é 0,6 m e que o tempo para encher o reservatório (1) completamente foi de 250 s, determine: a vazão em massa que sai em B e o tempo para encher completamente o reservatório (2).



Exercício 77: No trecho a seguir na seção 1 o ar tem uma velocidade igual a 75 m/s. Calcule: a vazão em volume em 1; a vazão em massa e a velocidade média na seção 2.



1.5. Vazão em peso (Q_G) e a relação entre as vazões

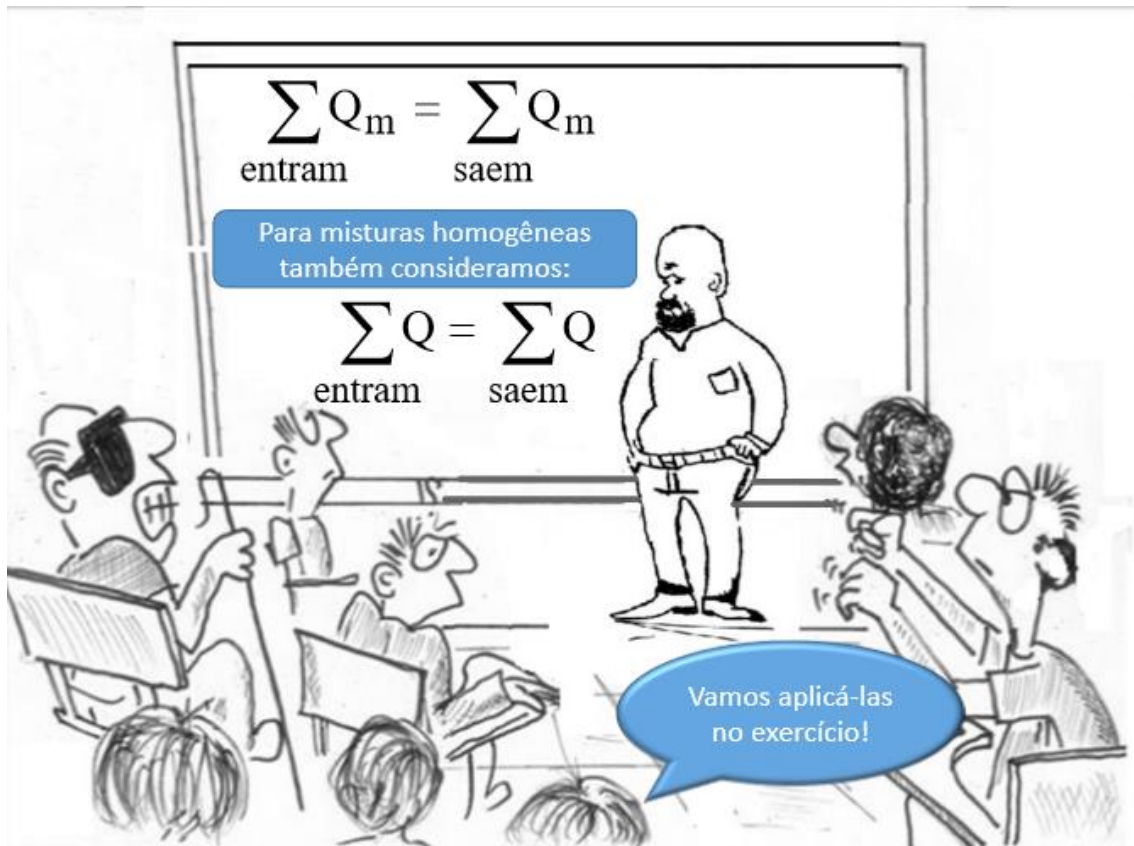
Fluxo em peso, ou vazão em peso, é a quantidade em peso do fluido que atravessa uma área A em um intervalo de tempo t .

$$Q_G = \frac{G}{t} = \frac{g \times m}{t} = g \times Q_m = g \times \rho \times Q = \gamma \times Q = \gamma \times v \times A$$

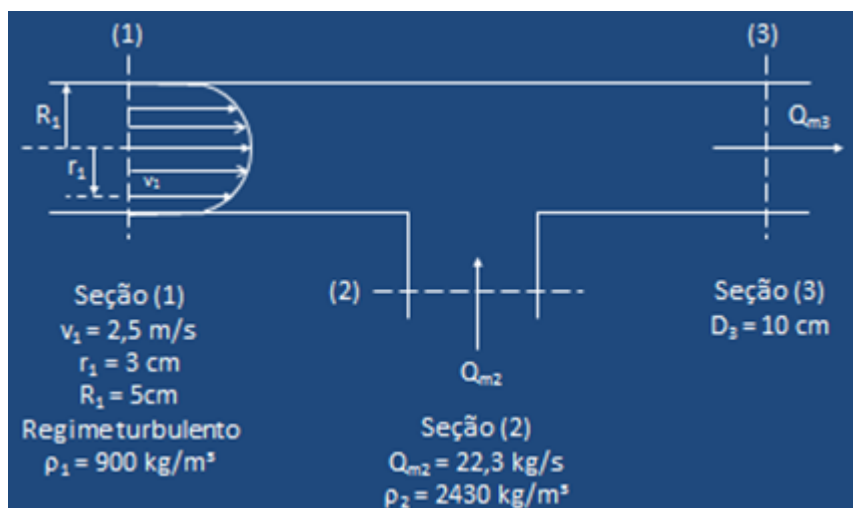


	SI	CGS
Vazão (Q)	m^3/s	cm^3/s
Vazão em massa (Q_m)	Kg/s	g/s
Vazão em peso (Q_G)	N/s	dina/s

3.11. Equação da conservação de massa (ou da continuidade) para um sistema com diversas entradas e diversas saídas



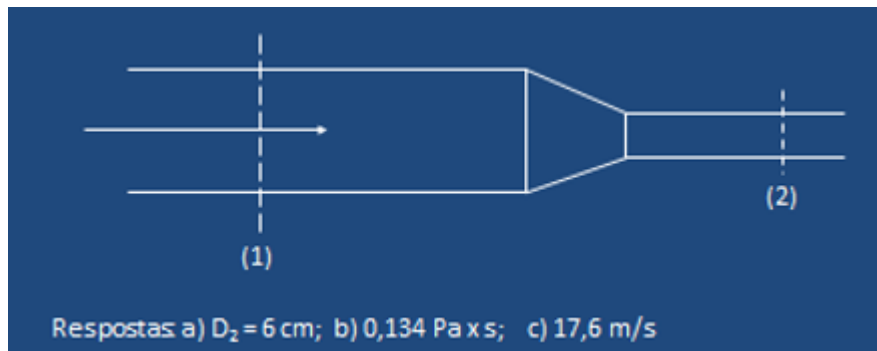
Exercício 78: Para a tubulação representada a seguir pede-se: a vazão em massa na seção (1) e a massa específica em (3) para que a mistura formada seja considerada homogênea.



<https://www.youtube.com/watch?v=TabGwVD1yck>

Exercício 79: No tubo da figura a seção (1) tem um diâmetro $D_1 = 18 \text{ cm}$ e o líquido apresenta um escoamento laminar com número de Reynolds igual a 2000, já na seção (2) o escoamento é turbulento com número de Reynolds igual a 6000. Na seção (1) o líquido tem uma velocidade igual a 3 m/s a 5 cm da parede do tubo, calcule:

- o diâmetro da seção (2);
- a viscosidade dinâmica do líquido se sua massa específica é igual a 800 kg/m^3 ;
- a velocidade na seção (2) a 1 cm da parede.

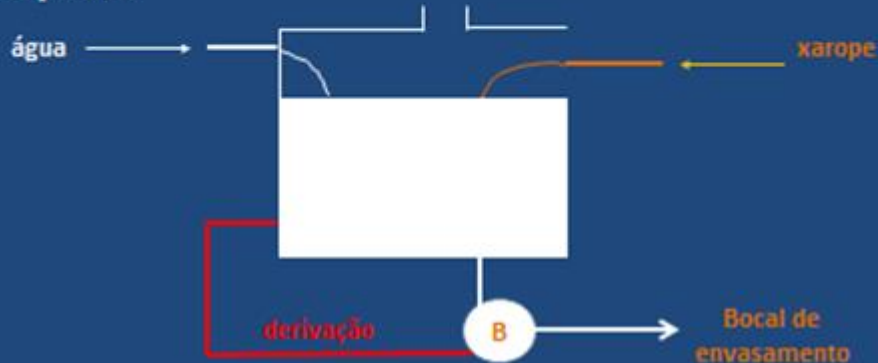


<https://www.youtube.com/watch?v=TeE3Jlpp4aU>

Exercício 80:

O reservatório da figura, que se mantém a nível constante, é utilizado para preparar e engarrafar um produto que é constituído por um xarope diluído em água. O xarope tem viscosidade alta e assim, o escoamento é laminar no seu conduto de entrada de diâmetro 20 mm, onde a velocidade máxima é $3,18 \text{ m/s}$. O bocal de envasamento enche 200 garrafas de 750 mL com o produto em 1 minuto, alimentado por uma bomba que tem um conduto de derivação com o reservatório. No conduto de entrada da bomba de diâmetro de 40 mm, o escoamento é turbulento e tem velocidade de $2,3 \text{ m/s}$ a 8 mm de distância da parede do conduto. Posto isto, determinar:

- a vazão na derivação e o sentido do escoamento que deve ser indicado na figura;
- a relação entre as vazões de xarope e água, ou seja, a que representa a composição do produto.

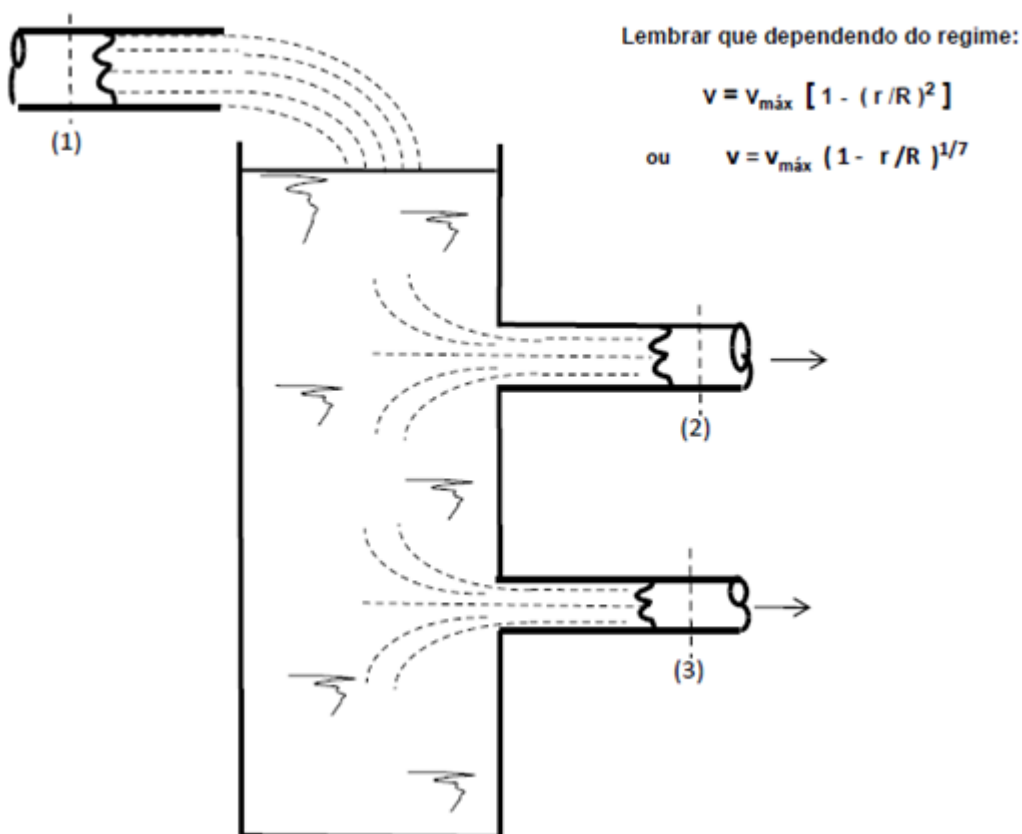


<https://www.youtube.com/watch?v=vFcb1ZOQgE> ou

<https://www.youtube.com/watch?v=5xTIZKoQKkM>

Exercício 81: O nível do reservatório da figura, se mantém constante, mesmo sendo de pequenas dimensões. A viscosidade do fluido em escoamento é de $150 \text{ mm}^2/\text{s}$. Nas seções (1) e (2) o regime de escoamento está no limite entre o laminar e o de transição, ainda laminar. Na seção (3) o regime de escoamento está no limite entre o de transição e o turbulento, já no turbulento. As velocidades no centro das seções (1) e (3) são respectivamente $2,5 \text{ m/s}$ e $3,7 \text{ m/s}$. Pede-se determinar:

- as vazões nas três seções (1), (2) e (3);
- os diâmetros nas três seções (1), (2) e (3);
- a velocidade de uma partícula fluida a 1 cm da parede interna na seção (3).

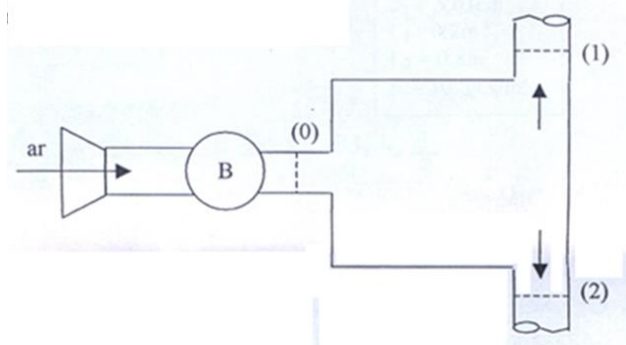


<https://www.youtube.com/watch?v=PJ-TKagMzgw>

Exercício 82: O insuflador de ar da figura fornece 4 kg/s na seção (0). O sistema está em regime permanente. Nas seções (1) e (2) deseja-se que o número de Reynolds seja 10^5 para que o movimento turbulento favoreça a homogeneização das temperaturas. Dados $D_1 = 40$ cm; $\rho_1 = 1,2$ kg/m³; $\mu_1 = 2,4 \times 10^{-5}$ N x s/m²; $\rho_2 = 0,95$ kg/m³ e $\mu_2 = 7,6 \times 10^{-5}$ N x s/m².

Pede-se:

- o diâmetro D_2 ;
- a vazão em volume e em massa nas seções (1) e (2)



<https://www.youtube.com/watch?v=xfKRF-OewDo>

Exercício 83: No laboratório, decide-se fazer a medida de viscosidade dinâmica de um fluido utilizando-se a experiência de Reynolds. Inicialmente realiza-se um ensaio com a água ($\nu = 10^{-6}$ m²/s e $\rho = 1000$ kg/m³). Neste ensaio quando acontece a passagem da transição para o turbulento, já turbulento, é recolhido no recipiente graduado o volume de 400 mL em 50 s. Nesta condição o recipiente com água é submetido a uma balança, obtendo-se 0,7 kg. Com o fluido em estudo verifica-se que na passagem do laminar para o escoamento de transição, ainda laminar, recolhe-se 900 mL no recipiente graduado, em 30 s. Nesta condição, na balança o recipiente graduado com o fluido em estudo registra-se 1 kg. Qual a viscosidade do fluido em estudo em Pa x s.

<https://www.youtube.com/watch?v=UJ4oiNGyzwo>

