

DÉCIMA PRIMEIRA AULA DE LABORATÓRIO DA DISCIPLINA ME5330


Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio

05/11/2013


Desenvolvemos duas experiências hoje: (1) visualizando e criando a cavitação através de um venturi e calculando o número (ou índice) de cavitação (σ) e (2) associação paralelo de bombas hidráulicas.




Depois da CCI, que é fundamental para escolha da bomba e determinação de seu ponto de trabalho, devemos enfatizar o grau de importância do fenômeno de cavitação, já que é este que vai decidir a aceitação, ou não, da bomba selecionada.



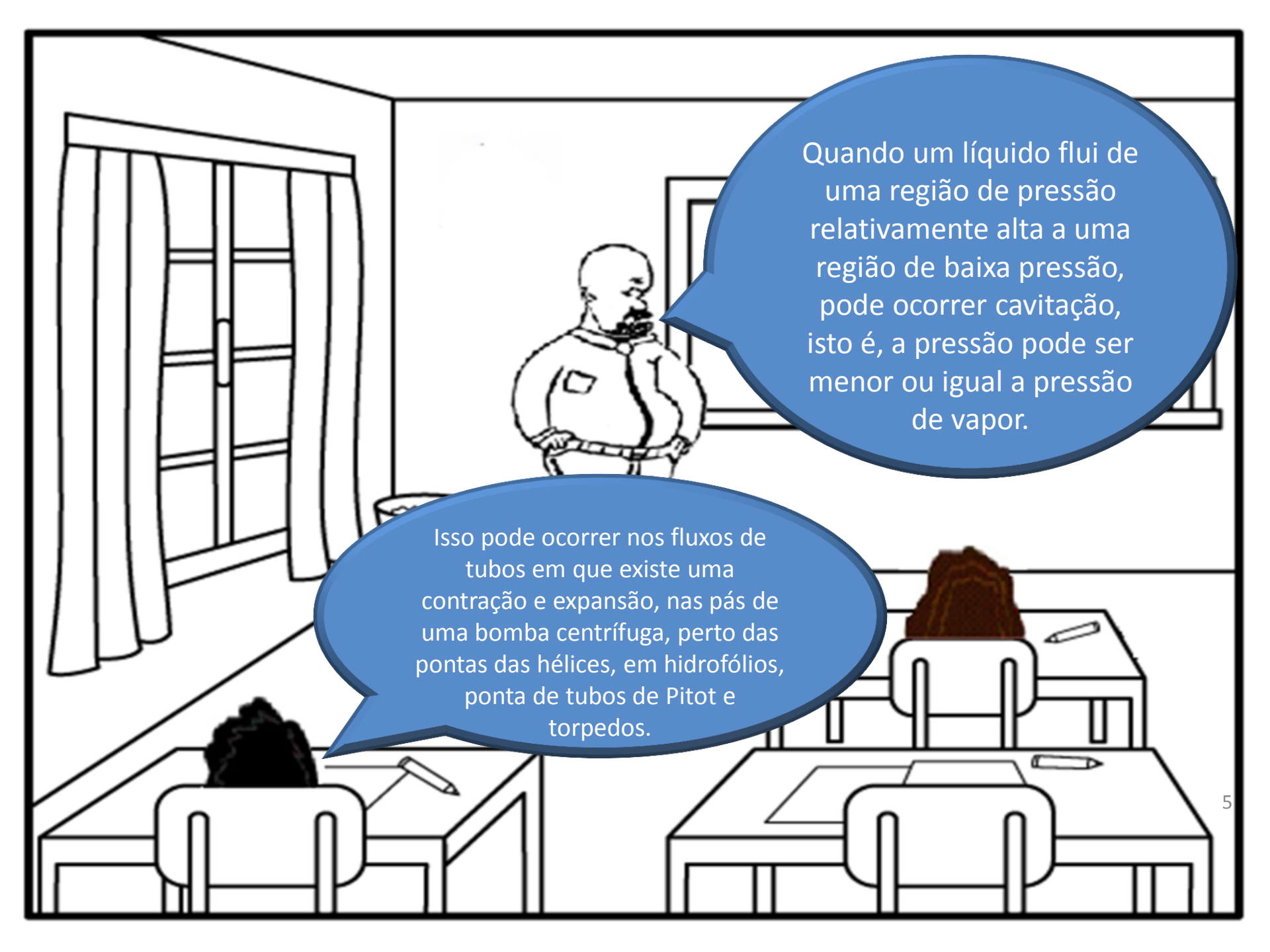
Gostaria de ver este fenômeno, isto é possível?



Sim, é possível
visualizar a cavitação
através de um
venturi.




Bancada para
visualização do
fenômeno de
cavitação através
de um venturi.



Quando um líquido flui de uma região de pressão relativamente alta a uma região de baixa pressão, pode ocorrer cavitação, isto é, a pressão pode ser menor ou igual a pressão de vapor.

Isso pode ocorrer nos fluxos de tubos em que existe uma contração e expansão, nas pás de uma bomba centrífuga, perto das pontas das hélices, em hidrofólios, ponta de tubos de Pitot e torpedos.



Exatamente, e optamos em recorrer ao venturi, onde temos uma contração e expansão.

Mas por que o venturi?

Algumas aplicações:

Hidroejetor Venturi

1

Economia

maior na dosagem de produtos químicos

Facilidade

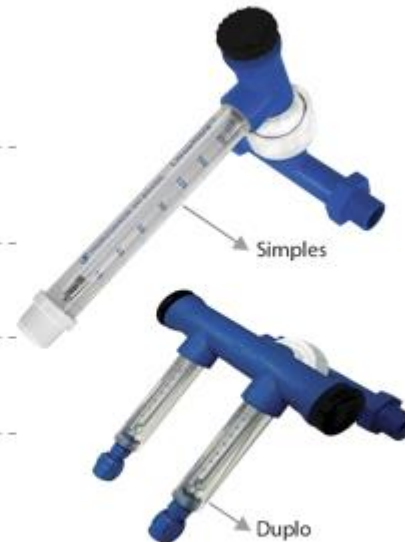
na instalação, manuseio e operação

Simplicidade

não necessita de energia elétrica!

Precisão

dosagem linear e constante



Os Hidroejetores Venturi são equipamentos de dosagem de produtos químicos, produz vácuo e succiona a solução a ser dosada. Seu funcionamento consiste na passagem de água através de um ejetor tipo venturi, que produz vácuo e succiona a solução a ser dosada. É uma alternativa econômica e funcional para dosagem de produtos químicos.

2

Aerador ABS Venturi Jet



Baseado no princípio de ejeção, o aerador ABS Venturi Jet é uma solução ideal para profundidades entre 1,5 m e 5 m. Fornece aeração e mistura com uma boa relação custo-benefício em aplicações de efluentes municipais e industriais, tanques de retenção de água da chuva e tanques de balanceamento.

Aplicações do Carregador Venturi

- A linha 2400 oferece versões de transporte de materiais para pós e grãos nas indústrias de plásticos, químicos e alimentar.
- Os recetores série P com filtro, são especialmente concebidos para utilização com pós e produtos friáveis nas indústrias alimentar e farmacêutica.
- Os carregadores económicos venturi da Série C são ideais para tremonhas de equipamentos pequenos e dosadores de aditivos. A unidade C1K inclui uma janela de inspecção e é montada na garganta para um acesso fácil.



4

Medidor de caudal em canal Venturi

Aplicação em Estação de Tratamento de Águas Residuais

DESCRIÇÃO :

Associado ao medidor de caudal **ULTRA 3 + dB3** o canal Venturi é uma solução normalizada ISO 4359 para a medida de caudal de efluentes à entrada ou saída da ETAR.



5

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE VENTURI NA DILUIÇÃO DO OZÔNIO NA ÁGUA

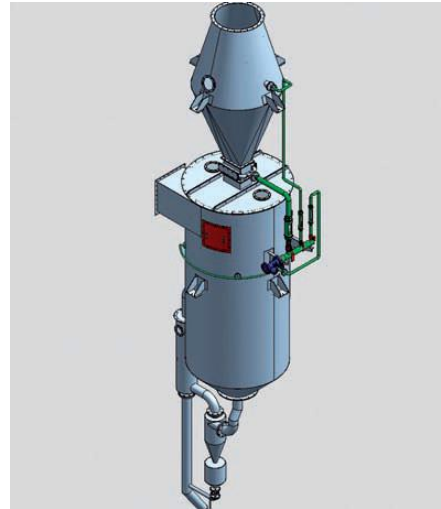
José Ricardo de Sampaio Borges IC
Choyu Otani PQ

Resumo: Escoamentos bifásicos entre líquidos e gases são muito utilizados em processos industriais, em sistemas de tratamento de efluentes, em desinfecção de água de abastecimento assim como em sistemas de reaproveitamento de água residual utilizada em processos diversos. Estes processos têm como insumo a transferência de massa entre o gás e o líquido. Neste trabalho, é proposta a feitura dessa transferência por meio de escoamentos borbulhantes, sendo avaliada uma alternativa aos meios tradicionais de geração deste tipo de escoamento, com a utilização de um venturi, cuja atuação se dá pela sucção do gás na câmara de alívio de pressão do jato de água (tubo com restrição).

6

Lavador de Gases tipo Venturi

O Lavador de gases tipo Venturi da Ingetecsa é usado para a separação de pós, reação ou destruição química de compostos indesejados e para a condensação de vapores. Este tipo de lavador de altíssima eficácia é indicado para separação de pós.



7

Soprado a Jato (usa o princípio venturi de ejetor para mover grandes volumes de ar e outros gases contra pressões de retorno baixas - usada para ventilação, exaustão, purga e aplicações a vácuo baixa)



8

Geradoras de vácuo



Tempos curtos de evacuação graças à geração descentralizada de vácuo
Todas geradoras de vácuo Festo funcionam conforme o princípio simples de Venturi.

9



Bomba Auto-Aspirante Residencial

Descrição:

Bombas auto-aspirantes PRATIKA - AP-2R possuem conjunto venturi interno com válvula de retenção incorporada.

10

Otimização de sistema de autoaspiração de ar tipo Venturi para tratamento de água ferruginosa.

11

Tubo Venturi

O tubo venturi é um instrumento confiável, de fácil manuseio e manutenção que realiza medição de vazão de uma grande gama de líquidos limpos e gases.

A principal vantagem do tubo venturi sobre outros instrumentos de medição de vazão por meio de diferencial de pressão é a baixa perda de carga e a necessidade de um curto trecho reto a montante e a jusante

12

Tipos de injetores

Nos injetores tipo Venturi o fluxo de fertilizante injetado na rede estará em relação direta à pressão da água à entrada do mecanismo, com uma pressão mínima da ordem de 150 kPa. A vazão varia, nos modelos mais usuais, entre 50 L/h e 2.000 L/h. A vazão mínima que deve passar através do “Venturi” depende de sua capacidade e varia de 1 m³/h para os modelos de 1” a mais de 20 m³/h para Venturi de 2” de alta capacidade de sucção.


Estes tipos de injetores ou dispõem de um bocal de vazão constante com o qual a vazão do fertilizante injetado é constante ou, em caso contrário, segundo a pressão de entrada e a perda de carga produzida na tubulação principal se obtenham diferentes vazões de injeção, as quais são indicadas pelo fabricante. Salienta-se que o valor da capacidade de sucção do Venturi indicado pelo fabricante se refere à água pura. Esta capacidade se reduzirá à medida que a densidade da solução fertilizante aumentar.

13

Utilizar o venturi para gerar o fenômeno de cavitação.

Estas são algumas das aplicações do venturi e que justificam seu estudo.





Para ampliar o conhecimento
sobre a cavitação, leiam na
bibliografia básica da página 446 a
480.

Quero enfatizar que em toda região onde temos um aumento de energia cinética e em consequência uma redução da energia de pressão este fenômeno pode ser observado, já que podemos atingir pressões menores ou iguais a pressão de vapor. É o caso da bancada utilizada no laboratório do Centro Universitário da FEI e que é mostrada nos próximos slides.



CAVITATION APPARATUS



THROAT AREA = 36.34
UPSTREAM AREA = 164.89
SAGRE HEIGHT CORRECTION = 182.5mm
FLOW ←



Venturi

CAVITATION APPARATUS



THROAT AREA = 36.24
UPSTREAM AREA = 44.89
GAUGE HEIGHT CORRECTION = 0.25 m
FLOW ←

The equipment is to be used only in accordance with the instructions in this manual.
Students using the apparatus must be properly supervised.
It is essential to inspect the unit at all times to ensure that it is in good working order.
Do not use the apparatus if it is found to be defective.
Using the apparatus.



Área mínima = A_2

Área máxima = A_1

THROAT AREA= 36.34mm²

UPSTREAM AREA= 144.89 mm²

GAUGE HEIGHT CORRECTION=162.5mm

FLOW





Manômetro que lê a pressão na seção de aproximação do Venturi = p_1





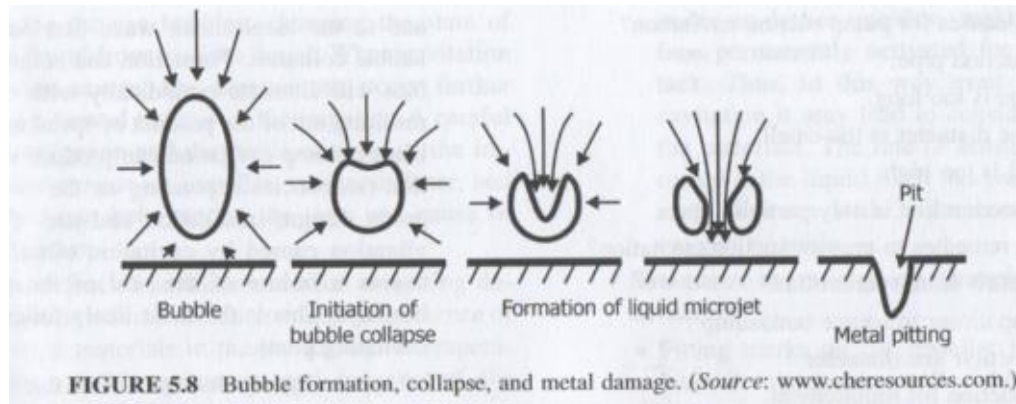
Vacuômetro que lê a pressão na garganta do Venturi = p_2



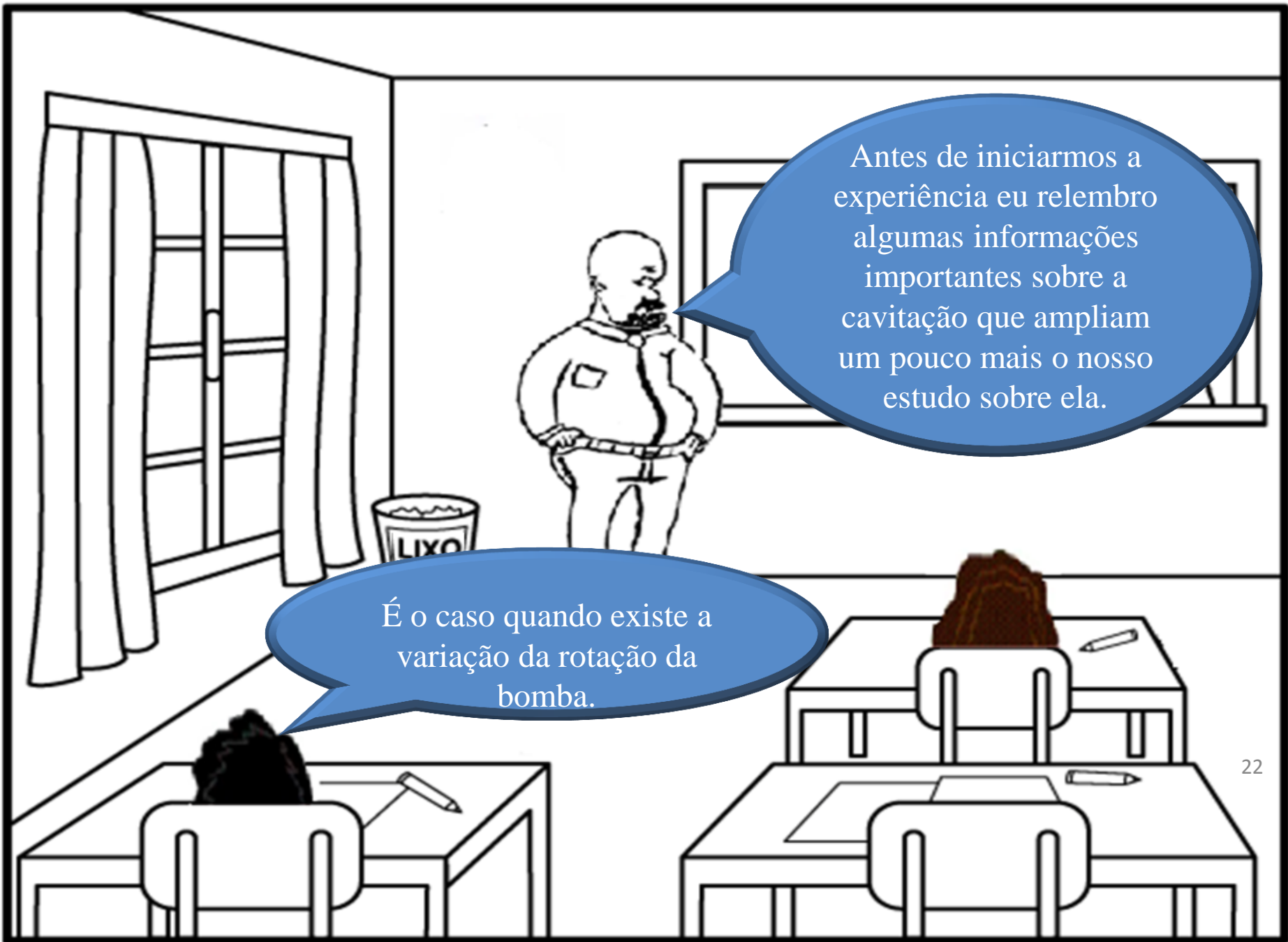
THROAT AREA= 36.34
UPSTREAM AREA= 144.89
GAUGE HEIGHT CORRECTION
FLOW ←

Parte das informações a seguir foram extraídas da dissertação apresentada por Welington Ricardo Coelho.

A erosão por cavitação estabelece um aspecto esponjoso, rendilhado e corroído à superfície. O desgaste pode assumir proporções tais que pedaços de material podem solta-se das peças. Cada bolha de vapor tem um ciclo entre crescimento e colapso, da ordem de poucos milésimos de segundo e induz altíssimas pressões que atingem concentradamente a região afetada.



Grein e Wyss (1974) e Knapp e al. (1970) mencionam que este ciclo é repetido numa frequência que pode atingir a ordem de 25000 bolhas por segundo e que as pressões transmitidas podem chegar a 1000 atm e pela repetição pode-se ter temperaturas até 800°C. A erosão provocada por este fenômeno vem acompanhada de outros efeitos indesejáveis que são as vibrações estruturais e o ruído acústico.



Antes de iniciarmos a experiência eu relembro algumas informações importantes sobre a cavitação que ampliam um pouco mais o nosso estudo sobre ela.

É o caso quando existe a variação da rotação da bomba.

Esta é uma primeira dificuldade que surge quando trabalhamos com rotações diferentes da fornecida pelo fabricante.

Consultando fabricantes de bomba é comum eles sugerirem a expressão:

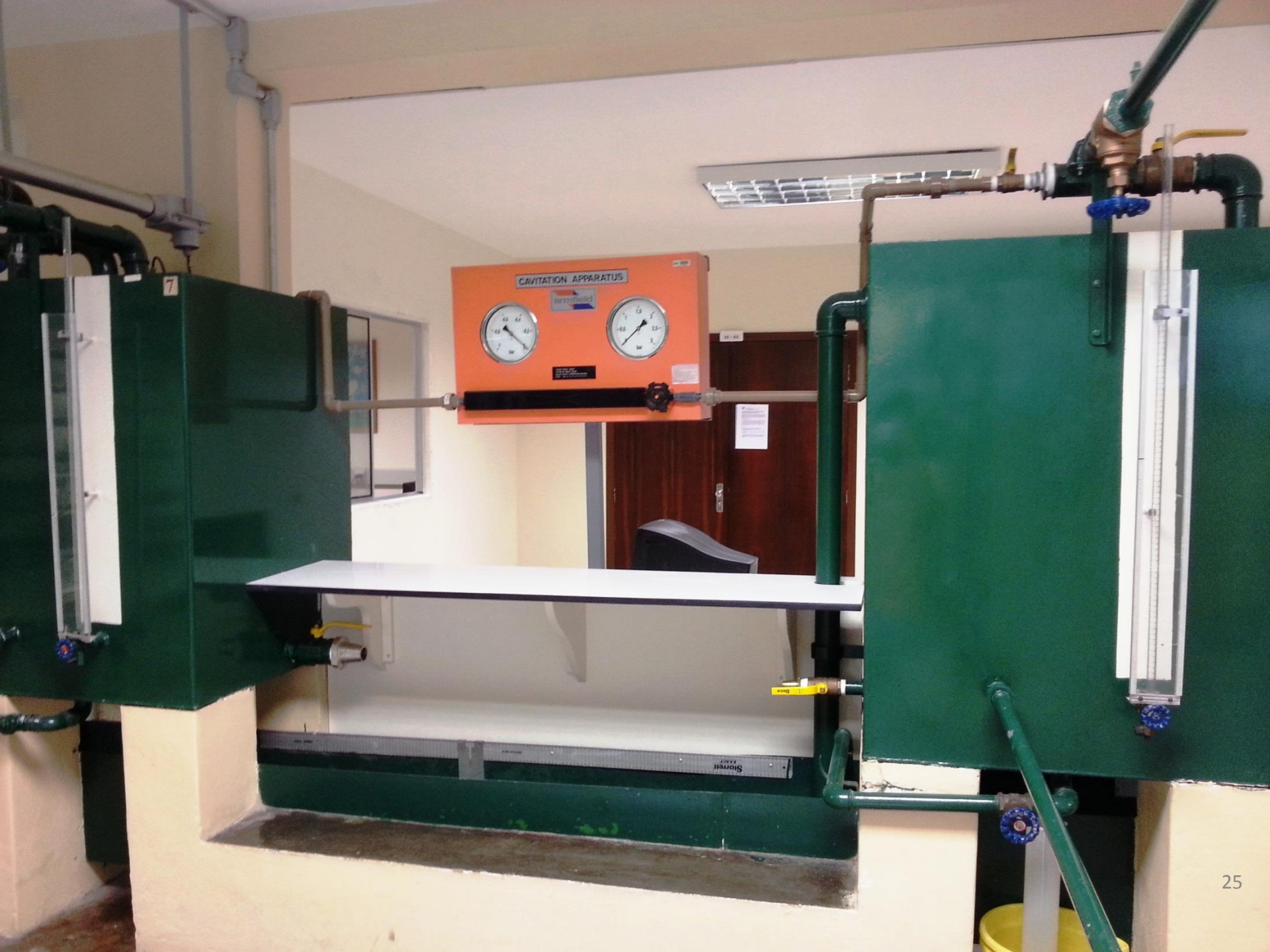
$$\text{NPSH}_{\text{requerido}_n} = \text{NPSH}_{\text{requerido}_{n_1}} \times \left(\frac{n}{n_1} \right)^2$$

Este procedimento também é apresentado pelas normas técnicas especializadas, mas é apenas indicado para se efetuar o ajuste das curvas do $\text{NPSH} = f(Q)$ para quando as variações da rotação se limitam a 3%, ou seja:

$$0,97 \leq \frac{n}{n_1} \leq 1,03$$



Vamos partir para o desenvolvimento da experiência




Tanque da
bancada 7



Objetivos:

1. Calcular o coeficiente de vazão no venturi;
2. Calcular o coeficiente de perda de carga singular em função do coeficiente de vazão ou o coeficiente de velocidade;
3. Obtenção da perda de carga singular do venturi;
4. Visualizar o fenômeno de cavitação
5. Calcular o número (ou índice) de cavitação;
6. Estimar o $NPSH_{\text{requerido}}$.




Determinação do
coeficiente de
vazão (C_d)

$$C_d = \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{teórica}}}$$

$$Q_{\text{real}} = \frac{\Delta h \times A_{\text{tanque}}}{t}$$

$$Q_{\text{teórica}} = \frac{\pi \times D_2^2}{4} \times \sqrt{\frac{2g \times \left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma} \right)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}}$$



Tendo as vazões
real e teórica,
calculamos o C_d

Como calcular a perda no venturi?



$$K_S = \left(\frac{1}{C_d^2} - 1 \right) \times \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right)$$

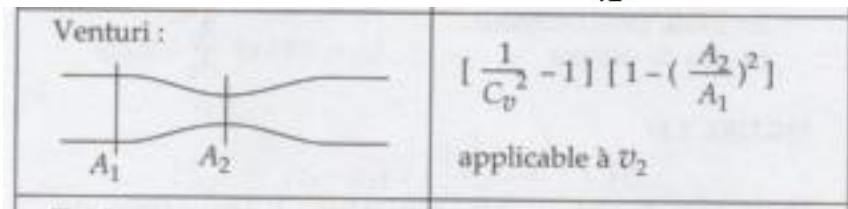
aplicado à v_2

$$h_S = K_S \times \frac{v_2^2}{2g}$$

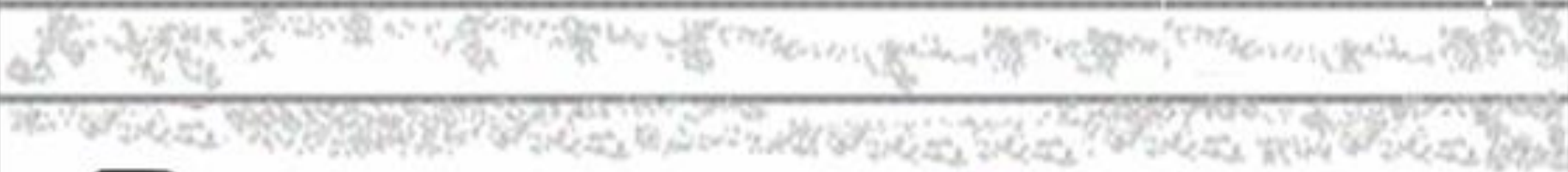
Portanto, temos que achar o coeficiente de vazão (C_d) do Venturi



Consultando o livro: Mécanique des Fluides Appliquée pg 107, temos:



Neste experimento objetivamos também calcular o número de cavitação que é um número adimensional e que é utilizado para caracterizar o potencial do escoamento em gerar a cavitação.



$$\sigma = \frac{p - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}, \text{ onde :}$$


σ → número de cavitação

p → pressão estática no escoamento não perturbado (Pa)

p_v → pressão de vapor do fluido (Pa)

ρ → massa específica do fluido (kg/m³)

v → velocidade média do escoamento (m/s)



O número de cavitação pode ser considerado como a razão entre a pressão estática líquida disponível para colapsar a bolha com a pressão dinâmica disponível para iniciar a formação da bolha.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

1. Inicie a experiência com a válvula fechada (vazão nula) e abra-a muito lentamente para não danificar os ponteiros dos manômetro metálicos (manômetro na área máxima e vacuômetro na área mínima).
2. Regule a vazão de água através da secção de teste com o auxílio da válvula instalada a montante da área máxima do Venturi.
3. Determine vazão de água de forma direta no tanque da bancada 7.
4. Para cada vazão anote a pressão na seção máxima (p_1) e na seção mínima (p_2) do Venturi.

Equacionamento

1. Determinação das áreas (A_1 e A_2)
2. Cálculo do número “teórico” da cavitação

$$\sigma_t = \frac{p_1 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v_2^2}$$

3. Cálculo do número experimental da cavitação

$$\sigma_{\text{exp}} = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho v_2^2}$$

4. Cálculo da vazão

$$Q = \frac{\Delta h \times A_t}{t}$$

Equacionamento (continuação)

1. Determinação das velocidades

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \rightarrow v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

Aí é construir a
tabela de dados e
resultados
apresentada no
próximo slide.



THROAT AREA= 36.34mm²
UPSTREAM AREA= 144.89 mm²
GAUGE HEIGHT CORRECTION=162.5mm
FLOW ←

Tabela de dados:

Só depois que cavitatar


Ensaio	P_{m1} (bar)	P_{m2} (bar)	Δh (mm)	t (s)	P_{maB} (mmHg)	P_{mdB} (kPa)	n (rpm)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Tabela de resultados:

Ensaio	Q_{REAL} (m ³ /s)	$Q_{\text{TEÓRICA}}$ (m ³ /s)	Cd	Ks	v_2 (m/s)	σ_t	σ_{exp}	v_{eB} (m/s)	v_{dB} (m/s)	H_B (m)	$NPSH_{\text{reqexp}}$ (m)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

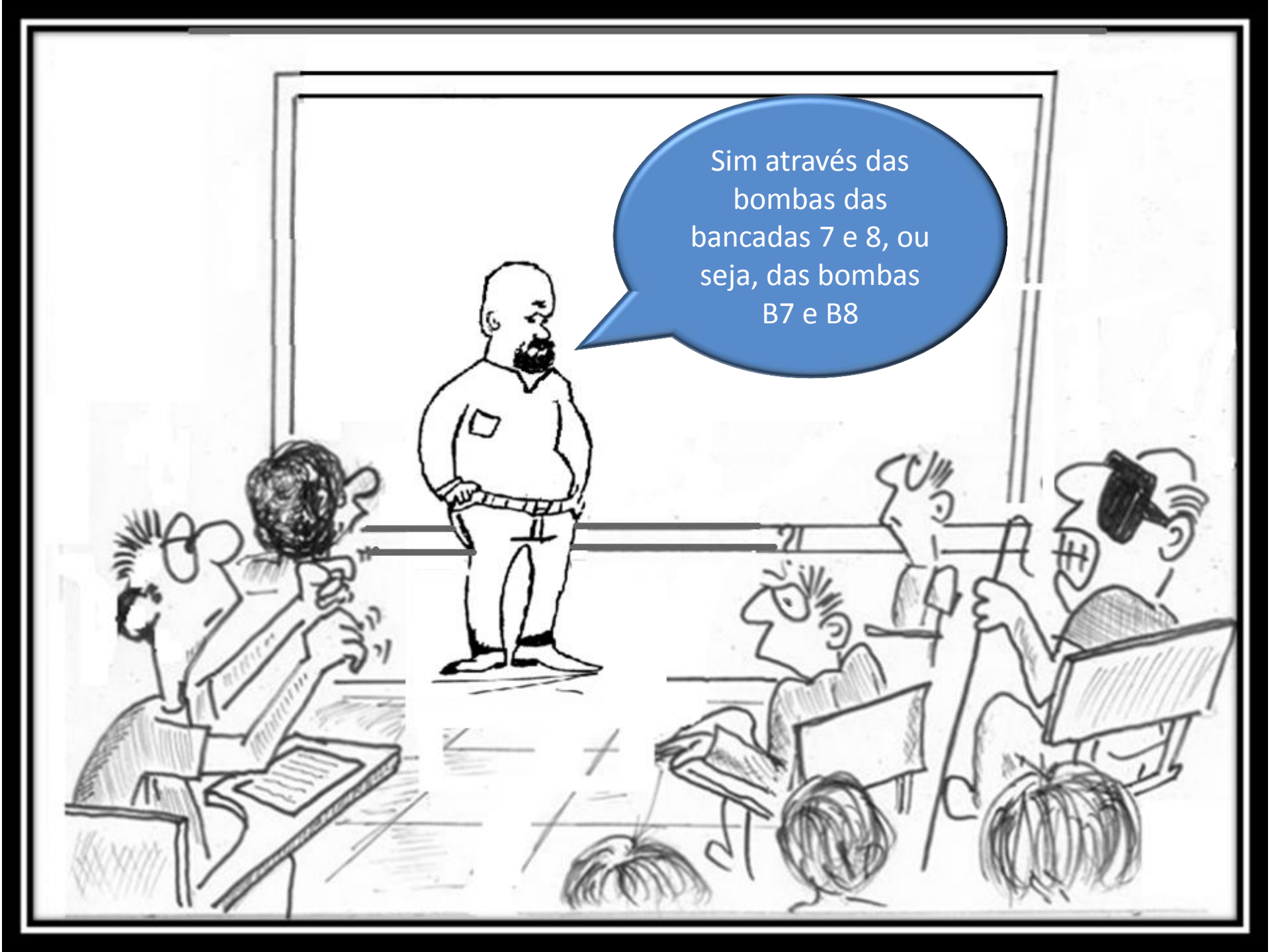
Vamos realizar
mais uma
experiência,



A black and white cartoon illustration of a lecture hall. A man with a beard and a white shirt stands at the front, speaking. He has his hands on his hips. A large blue speech bubble next to him contains the text 'Experiência da associação em paralelo de bombas'. In the foreground, several audience members are seated at desks, looking towards the speaker. One man on the right is wearing sunglasses and holding a pen. Another man on the left is looking towards the speaker. The room has a simple rectangular frame in the background.

Experiência da
associação em
paralelo de
bombas

É possível
visualizar esta
associação em
paralelo no
laboratório?



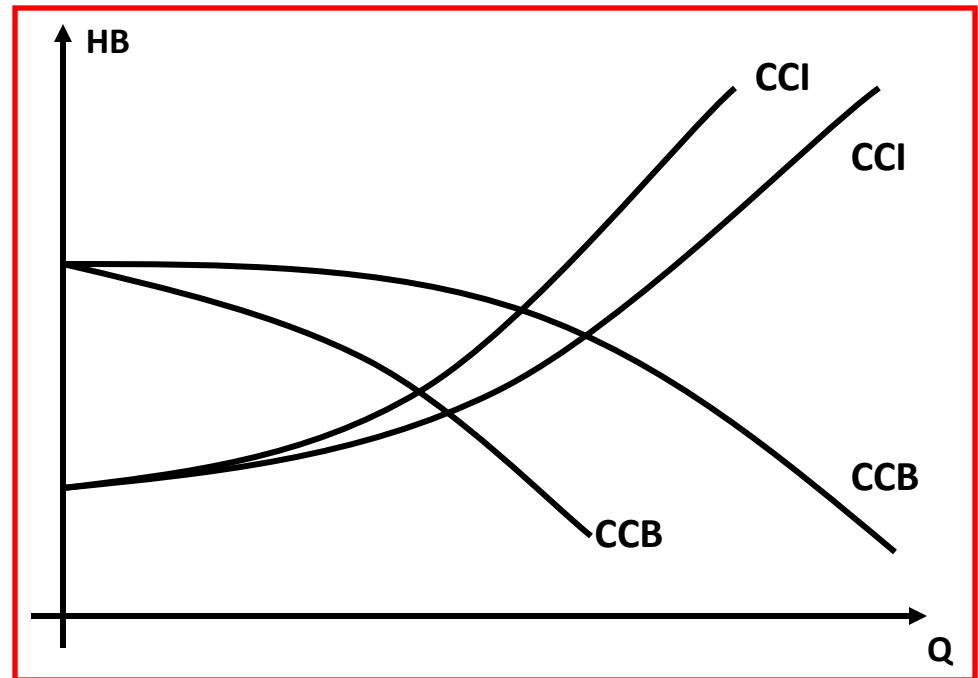
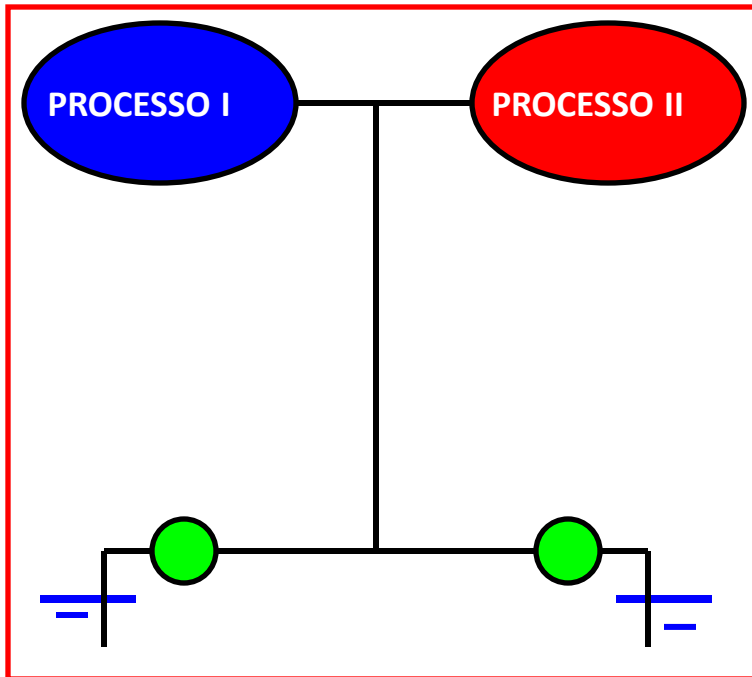
Sim através das
bombas das
bancadas 7 e 8, ou
seja, das bombas
B7 e B8

ASSOCIAÇÃO EM PARALELO DE BOMBAS:

 QUANDO É NECESSÁRIA?

 OBTENÇÃO DE UMA MAIOR VAZÃO “Q”...

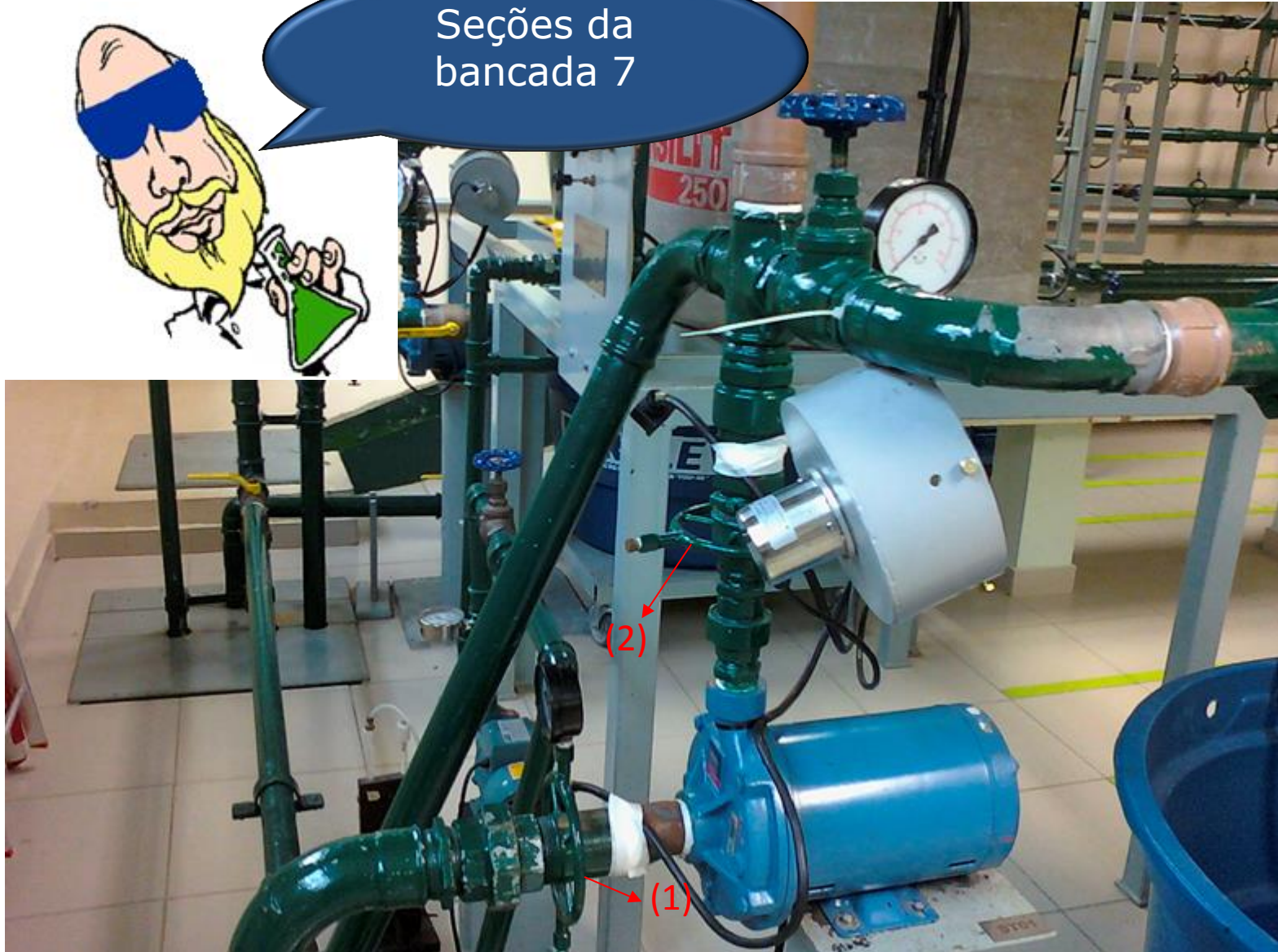
 VARIAÇÃO NO PROCESSO...



Objetivo: determinação da curva $H_{Bap} = f(Q_a)$ através das bancadas 7 e 8 do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI



Seções da bancada 7



BANCADA 8



**Novamente
a bancada 8**



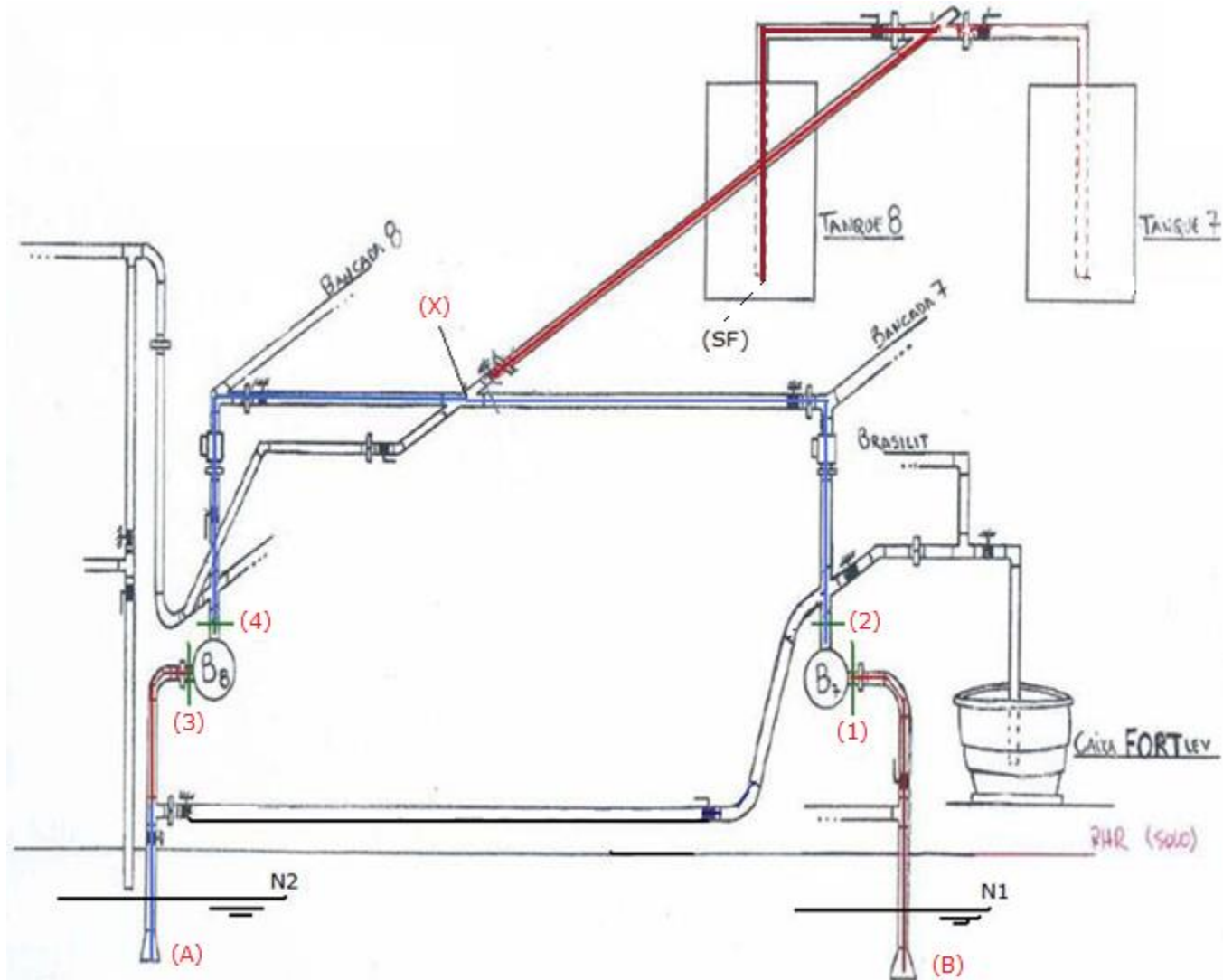
Considera-se as seções (1) e (2), respectivamente a entrada e a saída da bomba da bancada 7 e as seções (3) e (4), respectivamente a entrada e a saída da bancada 8, como mostra a figura a seguir.



As fotos abaixo mostram o caminho percorrido pela água na associação em paralelo das bombas da bancada 7 (B7) e da bancada 8 (B8).



Esquemáticamente



Efetuando-se um balanço de potências entre as seções (1), (3) e (sf), obtém-se a equação I:

$$\gamma Q_{B7} H_1 + \gamma Q_{B8} H_3 + \gamma Q_{B7} H_{B7} + \gamma Q_{B8} H_{B8} = \gamma(Q_{B7} + Q_{B8}) H_{SF} + \gamma Q_{B7} H_{p_{2-X}} + \gamma Q_{B8} H_{p_{4-X}} + \gamma(Q_{B7} + Q_{B8}) H_{p_{X-SF}}$$

Equação I

Por outro lado, ao se efetuar um balanço de potências entre as seções (2), (4) e (sf), obtém-se a equação II:

$$\gamma Q_{B7} H_2 + \gamma Q_{B8} H_4 = \gamma(Q_{B7} + Q_{B8}) H_{SF} + \gamma Q_{B7} H_{p_{2-X}} + \gamma Q_{B8} H_{p_{4-X}} + \gamma(Q_{B7} + Q_{B8}) H_{p_{X-SF}}$$

Equação II

Observação: nas equações I e II "X" corresponde a cruzeta onde as vazões se unem.

De (II) em (I) e sabendo-se que o peso específico é constante, tem-se:



$$\gamma Q_{B7} H_1 + \gamma Q_{B8} H_3 + \gamma Q_{B7} H_{B7} + \gamma Q_{B8} H_{B8} = \gamma Q_{B7} H_2 + \gamma Q_{B8} H_4$$

A soma $\gamma Q_{B7} H_{B7} + \gamma Q_{B8} H_{B8} = \gamma Q_{ap} H_{B_{ap}}$, portanto:

$$\gamma Q_{B7} H_1 + \gamma Q_{B8} H_3 + \gamma Q_{ap} H_{B_{ap}} = \gamma Q_{B7} H_2 + \gamma Q_{B8} H_4$$

$$H_{B_{ap}} = \frac{1}{Q_{ap}} \times [Q_{B7} \times (H_2 - H_1) + Q_{B8} \times (H_4 - H_3)]$$

Como os nossos medidores de vazão eletromagnéticos não estão em operação, vamos considerar:



$$Q_{B7} = Q_{B8} = \frac{Q_{ap}}{2}$$

$$H_{B_{ap}} = \frac{1}{2} \times [(H_2 - H_1) + (H_4 - H_3)]$$

No desenvolvimento da experiência, deve-se obter a rotação do conjunto motobomba através de um tacômetro.



As pressões nas seções (1), (2), (3) e (4) são obtidas lendo as pressões nos manômetros metálicos tipo Bourdon e corrigindo seus valores lidos.



Bancada 8

Bancada 7



	P barométrica (.....)	P _{m1} (.....)	P _{m2} (.....)	n _{B7} (rpm)	P _{m3} (.....)	P _{m4} (.....)	n _{B8} (rpm)	Δh (mm)	t (s)	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
Cotas:	PHR no chão	Cota do centro do manômetro até o eixo na seção (1)	Cota do centro do manômetro até o eixo na seção (2)	Cota do centro do manômetro até o eixo na seção (3)	Cota do centro do manômetro até o eixo na seção (4)					
z ₁ (m)		h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	h ₃ (cm)	h ₄ (cm)					
z ₂ (m)										
z ₃ (m)										
z ₄ (m)										
Dados da tubulação:										
	D _H (m)	A seção livre (m ²)	Propriedades da água a°C:							
2"	0,0525	0,00217		μ (kg/m.s)	ρ (kg/m ³)	p _{vapor} (Pa)				
1.5"	0,0408	0,00131							53	

Importante:

após os ensaios deve-se comparar a curva $H_{Bap} = f(Q_{ap})$ obtida na prática com a obtida pelo Excel a partir dos dados de catálogos das bombas B7 e B8, que no caso são iguais e para a rotação de 3500 rpm apresentam as seguintes características:



Tabela de dados obtida com o fabricante das bombas da bancada 7 e 8, que teoricamente são iguais.



Q fab.	Hb fab.
(m ³ /h)	(m)
0	39,5
2	39,5
4	39
6	37,5
8	35
10	33
12	30
14	26,5
16	21,5