

### 3. Etapas do projeto de uma instalação de bombeamento

O mindmapping representado pela figura 8 evoca as etapas básicas do projeto de uma instalação de bombeamento.



Figura 8

### 3.1. Dados iniciais

#### 3.1.1. Fluido e sua temperatura

Com essa informação será possível a determinação de parâmetros fundamentais para o desenvolvimento do projeto, tais como:

- massa ou peso específico, que são fundamentais para especificação por exemplo da carga de pressão;
- viscosidade, que é fundamental para o cálculo da perda de carga;
- pressão de vapor, que é fundamental para a verificação do fenômeno de cavitação<sup>6</sup>.

No caso do fluido ser a água e estando ligado a internet, pode-se obter as suas propriedades clicando em:

**Obtenção das propriedades d'água em função da temperatura e muito mais**

ou

**Obtenção das propriedades do mercúrio e d'água em função da temperatura**

Para aqueles que acreditam que o peso específico d'água é  $1000 \text{ kgf/m}^3$ , sugere-se a leitura do artigo transcrito a seguir sobre termômetro de Galileu<sup>7</sup>.

“Baseado no termoscópio, inventado por Galileu Galilei no começo do século XVII, o termômetro, que pode estar sobre sua mesa de trabalho é chamado de termômetro de Galileu. É um termômetro simples e razoavelmente preciso que atualmente é mais usado como enfeite. O termômetro de Galileu consiste de um tubo de vidro selado, preenchido com água e várias bolhas flutuantes. As bolhas são esferas de vidro “cheias” com uma mistura líquida colorida. Esta mistura líquida pode conter álcool ou pode ser só água com corante. Cada bolha tem uma

---

<sup>6</sup> Fenômeno de vaporização parcial, ou total, do fluido a ser transportado na própria temperatura de escoamento devido a existência de pressão igual ou inferior a pressão de vapor.

<sup>7</sup> Artigo publicado no sítio: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/questao663.htm>

pequena etiqueta de metal que indica a temperatura. Na etiqueta estão gravados um número e um símbolo de grau. Estas etiquetas de metal são, na verdade, contrapesos calibrados. O peso de cada etiqueta é ligeiramente diferente dos outros. Já que as bolhas são todas de vidro soprado, elas não têm exatamente o mesmo tamanho e formato. As bolhas são calibradas acrescentando-se uma determinada quantidade de fluido a elas de modo que tenham exatamente a mesma densidade. Depois que as etiquetas pesadas são presas às bolhas, cada uma difere ligeiramente na densidade (proporção entre massa e volume) das outras e a densidade de todas elas é muito próxima à densidade da água circundante. Um objeto imerso em um fluido sofre a ação de duas forças principais: a atração da gravidade, no sentido descendente, e o empuxo, no sentido ascendente. É a força da gravidade que faz este termômetro funcionar. A idéia básica é que, à medida que a temperatura do ar fora do termômetro muda, também muda a temperatura da água em volta das bolhas. Quando a temperatura da água muda, ou ela expande ou se contrai mudando a sua densidade. A uma determinada densidade, algumas bolhas vão flutuar e outras vão afundar. A bolha que afunda mais indica a temperatura atual aproximada. Como exemplo, digamos que no termômetro haja dez bolhas:

- uma bolha pink que representa 16°C
- uma bolha verde que representa 18°C
- uma bolha vermelha que representa 20°C
- uma bolha azul que representa 22°C
- uma bolha amarela que representa 24°C
- uma bolha azul turquesa que representa 26°C
- uma bolha roxa que representa 28°C
- uma bolha outra vermelha que representa 30°C
- uma outra bolha azul que representa 32°C
- uma outra bolha amarela que representa 34°C



A bolha pink (16°) é a mais pesada (mais densa) e as demais bolhas são mais leves, sendo a amarela a mais leve de todas. Agora, digamos que a temperatura na sala é de 20°. Já que o ar circundante é de 20°, sabemos que a água presente no termômetro também tem 20°. As bolhas pink e verde (16° e 18°, respectivamente) são calibradas para terem maiores densidades que a água, nesta temperatura, fazendo com que elas afundem. As bolhas azul, amarela, azul turquesa, roxa, outra vermelha, outra azul e outra amarela possuem densidades menores que a água em volta. Dessa forma, elas ficam flutuando pelo topo do termômetro. Já que a bolha vermelha é calibrada para representar 20° (mesma temperatura da água), ela afunda lentamente e assim fica flutuando um pouco abaixo das bolhas pink e verde indicando a temperatura da sala.

### 3.1.2. Condições de captação

Ao se iniciar um projeto sabem-se as condições de captação do fluido, o que equivale a dizer que se conhece da seção inicial da instalação:

- a carga potencial ( $z_i$ );
- a carga de pressão ( $p_i/\gamma$ );
- e a carga cinética ( $\alpha v_i^2/2g$ ).

A soma das cargas anteriores representa a carga inicial ( $H_{\text{inicial}}$ ) da instalação a ser projetada.

### 3.1.3. Condições de descarga

Também são conhecidas as condições desejadas para a descarga do fluido, o que equivale a dizer que se conhece da seção final da instalação:

- a carga potencial ( $z_f$ );
- a carga de pressão ( $p_f/\gamma$ );
- e a carga cinética ( $\alpha v_f^2/2g$ ).

A soma das cargas anteriores representa a carga final ( $H_{final}$ ) da instalação a ser projetada.

### 3.1.4. Vazão desejada

Através dela pode-se dimensionar a tubulação.

$$Q = \frac{\text{volume}}{\text{tempo}} = v \times A \rightarrow v = \text{velocidade média}$$

### 3.2. Dimensionamento da Tubulação<sup>8</sup>

Os tubos são dutos fechados destinados ao transporte de fluidos. O termo usado para denominar um conjunto de tubos e seus acessórios é tubulação.

<sup>8</sup> IGNÁCIO, Raimundo F., Curso Básico de Mecânica dos Fluidos, publicado em <http://www.escoladavida.eng.br>

Dependendo do processo considerado o valor da tubulação geralmente está entre 30 a 70% do valor total dos equipamentos de uma indústria, daí uma das justificativas de preocupação de seu dimensionamento.

Neste curso, por se tratar de um curso básico, será focado o dimensionamento de tubos, onde em função do fluido a ser transportado e da sua temperatura de escoamento, procura-se mencionar o material mais utilizado na fabricação dos mesmos<sup>9</sup>.

A tabela 4 (página 48) pode auxiliar nesta escolha, porém deixa-se claro que: dependendo da aplicação, consideram-se outros fatores e como o objetivo deste trabalho é ser uma referência bibliográfica básica, outras fontes devem ser consultadas<sup>10</sup>.

A faixa de velocidade recomendada na tabela 4 é denominada de velocidade econômica e será utilizada para o dimensionamento do tubo.



---

<sup>9</sup> No sítio

<http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/manuaisenai.pdf> existe uma tabela interessante que relaciona o tipo de material com o fluido a ser transportado

<sup>10</sup> Por exemplo: Telles, Pedro Carlos da Silva – Tubulações industriais: materiais, projeto e desenho – Livros Técnicos e Científicos S.a Editora S.A

FLUIDO (líquido)	Velocidade econômica (m/s)	Material da Tubulação
Água:		
- serviços gerais	0,9 a 2,5	aço
- rede industrial	0,9 a 2,2	aço
Bombas:		
- linha de sucção	0,9 a 2,2	aço
- linha de recalque	2,1 a 3,0	aço
Ácido clorídrico	1,5	rev. de borracha
Ácido sulfúrico 88 a 98%	1,2	F° F°
Amoníaco	1,8	aço
Benzeno	1,8	aço
Cloro	1,5	aço
FLUIDO (líquido)	Velocidade econômica (m/s)	Material da Tubulação
Clorofórmio	1,8	cobre e aço
Hidróxido de sódio		
- solução até 30%	1,8	aço
- solução de 30 a 50%	1,5	aço
- solução de 50 a 73%	1,2	aço
Óleo lubrificante	1,8	aço
Óleo combustível	1,8	aço
Salmoura (CaCl <sub>2</sub> )	1,2	aço
Tetracloro de Carbono	1,8	aço
Tricloro etileno	1,8	aço

**Tabela 4**

Como o escoamento isotérmico de um gás perfeito até cerca de 75 m/s é considerado como incompressível, criou-se a tabela 5.

FLUIDO - gás ou vapor	Velocidade econômica (m/s)	Material da Tubulação
Ar (0 a 30 psi)	20	aço
Amônia	30	aço
Ácido Clorídrico	20	rev. de borracha
Cloro	10 a 25	aço
Clorofórmico	10	cobre e aço
Dióxido de enxofre	20	aço
Etileno	30	aço
Hidrogênio	20	aço
Gás natural	30	aço
Vapor d'água		
- 0 a 30 psi-sat	20 a 30	aço
- 30 a 150 psi-sat ou superaquecido	30 a 50	aço
- acima de 150 psi	50 a 75	aço
- linhas curtas	75	aço

**Tabela 5**

Após o estabelecimento do material e da velocidade econômica, calcula-se o diâmetro de referência da tubulação como mostramos a seguir:

$$Q = V \times A = V \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\therefore D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}} \quad \text{equação 1}$$

Através do diâmetro de referência calculado pela equação 1, consultando uma tabela normalizada de tubo, especifica-se o diâmetro nominal recomendado para o mesmo após a bomba, para o tubo antes da bomba adota-se um diâmetro comercial imediatamente superior<sup>11</sup>.

Deve-se salientar, que dependendo da fonte de consulta encontram-se certas variações das velocidades econômicas, para ilustrar o mencionado, apresenta-se a tabela 6 e gráfico 1 com valores para linhas de recalque curtas<sup>12</sup> recomendados pela Companhia Sulzer e na tabela 7 as velocidades recomendadas pela Alvenius Equipamentos Tubulares S/A.

VELOCIDADES MÁXIMAS EM L. DE RECALQUE CURTAS								
D, mm	5,0	60	75	100	150	200	300	400
V, m/s	1,3	1,4	1,55	1,80	2,20	2,30	2,45	2,60
Q, l/s	2,5	4,0	6,8	14,1	38,9	72,3	173,1	326,5

**Tabela 6**

<sup>11</sup> Isto procurando evitar o fenômeno de cavitação, já que com o diâmetro maior se tem uma perda de carga na tubulação antes da bomba menor. Isto será mais bem detalhado nas aulas que se estuda o fenômeno de cavitação.

<sup>12</sup> A Sulzer considera-se instalação curta áquela que apresenta comprimento menor ou igual a carga manométrica da bomba



Fluido	Velocidade (m/s)
Água - redes em cidades	1 a 3
- redes industriais	2 a 4
- alimentação de caldeiras	4 a 8
- sucção de bombas	0,75 a 1,8
Água salgada	1,5 a 2,5
Ar comprimido	15 a 20
Vapor - até 2 kgf/cm <sup>2</sup> saturado	20 a 40
- de 2 a 10 kgf/cm <sup>2</sup>	40 a 80
- mais de 10 kgf/cm <sup>2</sup>	80 a 200
Hidrocarbonetos líquidos em instalações industriais	
- linhas de sucção	1 a 2
- linhas de recalque	1,5 a 2,5
Hidrocarbonetos gasosos em instalações industriais	25 a 30
Acetileno	20 a 25
Amônia - líquida	2
- gás	25 a 35
Hidrogênio	20 a 35
Cloro - líquido	1,5 a 2,0
- gás	15 a 30
Soda cáustica - 0 a 30%	2
- 30 a 50%	1,5
- 50 a 75%	1,2
Cloreto de sódio	1,5 a 2,0
Cloreto de Cálcio	1,5
Tetra-Cloreto de carbono	2,0
Ácido sulfúrico	1,0 a 1,2

**Tabela 7**

Já que existe mais de uma possibilidade para a escolha do diâmetro de recalque e como hoje, pode-se recorrer a meios programáveis é comum efetuar-se um estudo econômico para a escolha do diâmetro mais adequado. Na escolha do diâmetro, dois fatores são importantes: o **custo da tubulação** a ser instalada (custos fixos ou depreciação do investimento inicial), este custo aumenta à medida que se escolhe diâmetros maiores e o **custo operacional do sistema**, ou seja, a

energia gasta no bombeamento do fluido que decresce com o aumento do diâmetro da tubulação (custos operacionais).

Considerando-se que em um dado projeto, tem-se a possibilidade de trabalhar com os diâmetros  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ , para especificar o diâmetro adequado, executa-se um estudo econômico como mostra a tabela 8.

Item	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$
Custo do tubo/m				
Custo dos acessórios hidráulicos				
Custo total da tubulação				
Amortização anual da tubulação (1)				
Velocidade média (m/s)				
Perda de carga na tubulação (m)				
Altura manométrica (m)				
Potência consumida (kW)				
Custo anual de energia (2)				
Amortização anual da energia (3)				
Despesa total anual: (1) + (2) + (3)				

**Tabela 8**

O que se busca com o estudo anterior é a especificação do diâmetro econômico da tubulação aquele para o qual a soma do custo variável com o custo fixo será mínima.

Outras fontes a serem consultadas para se refletir sobre o melhor diâmetro a ser adotado em uma instalação de bombeamento:

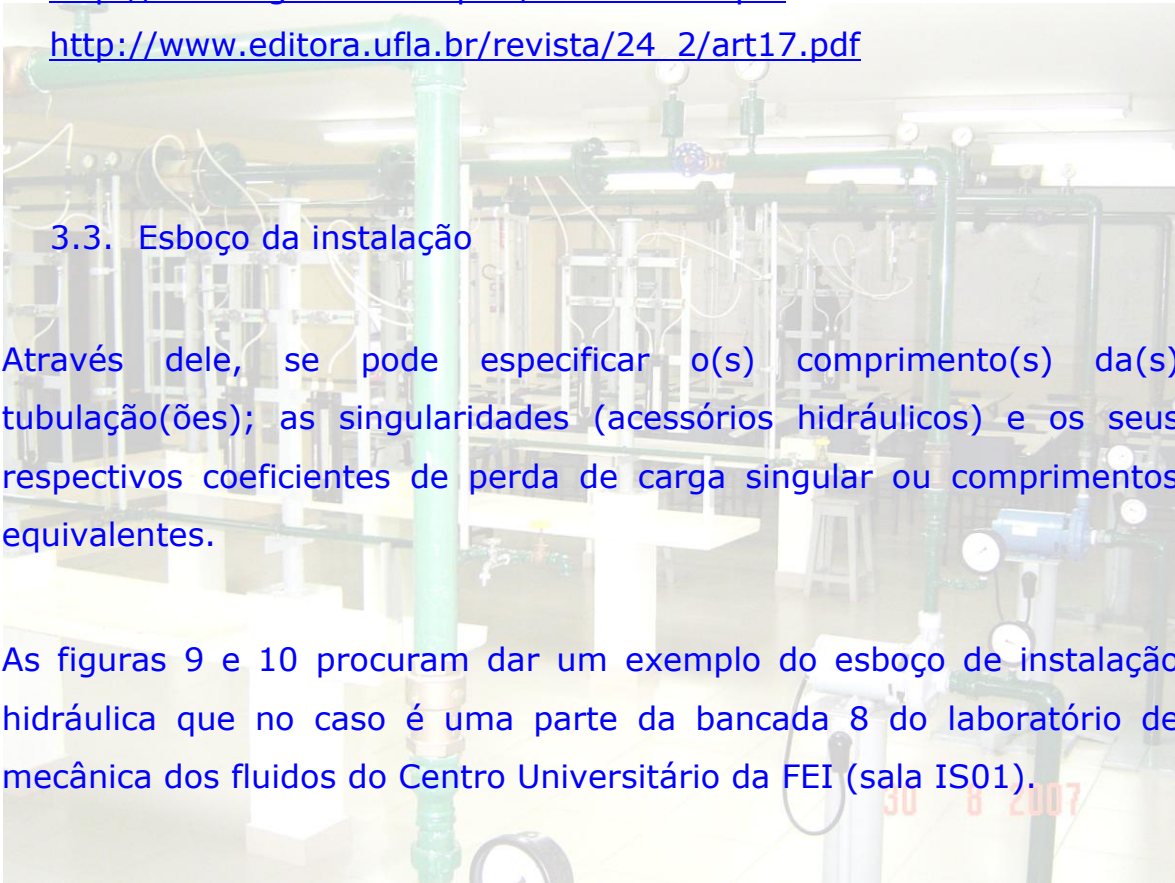
<http://www.agr.feis.unesp.br/dincon2004.pdf>

[http://www.editora.ufla.br/revista/24\\_2/art17.pdf](http://www.editora.ufla.br/revista/24_2/art17.pdf)

### 3.3. Esboço da instalação

Através dele, se pode especificar o(s) comprimento(s) da(s) tubulação(ões); as singularidades (acessórios hidráulicos) e os seus respectivos coeficientes de perda de carga singular ou comprimentos equivalentes.

As figuras 9 e 10 procuram dar um exemplo do esboço de instalação hidráulica que no caso é uma parte da bancada 8 do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI (sala IS01).



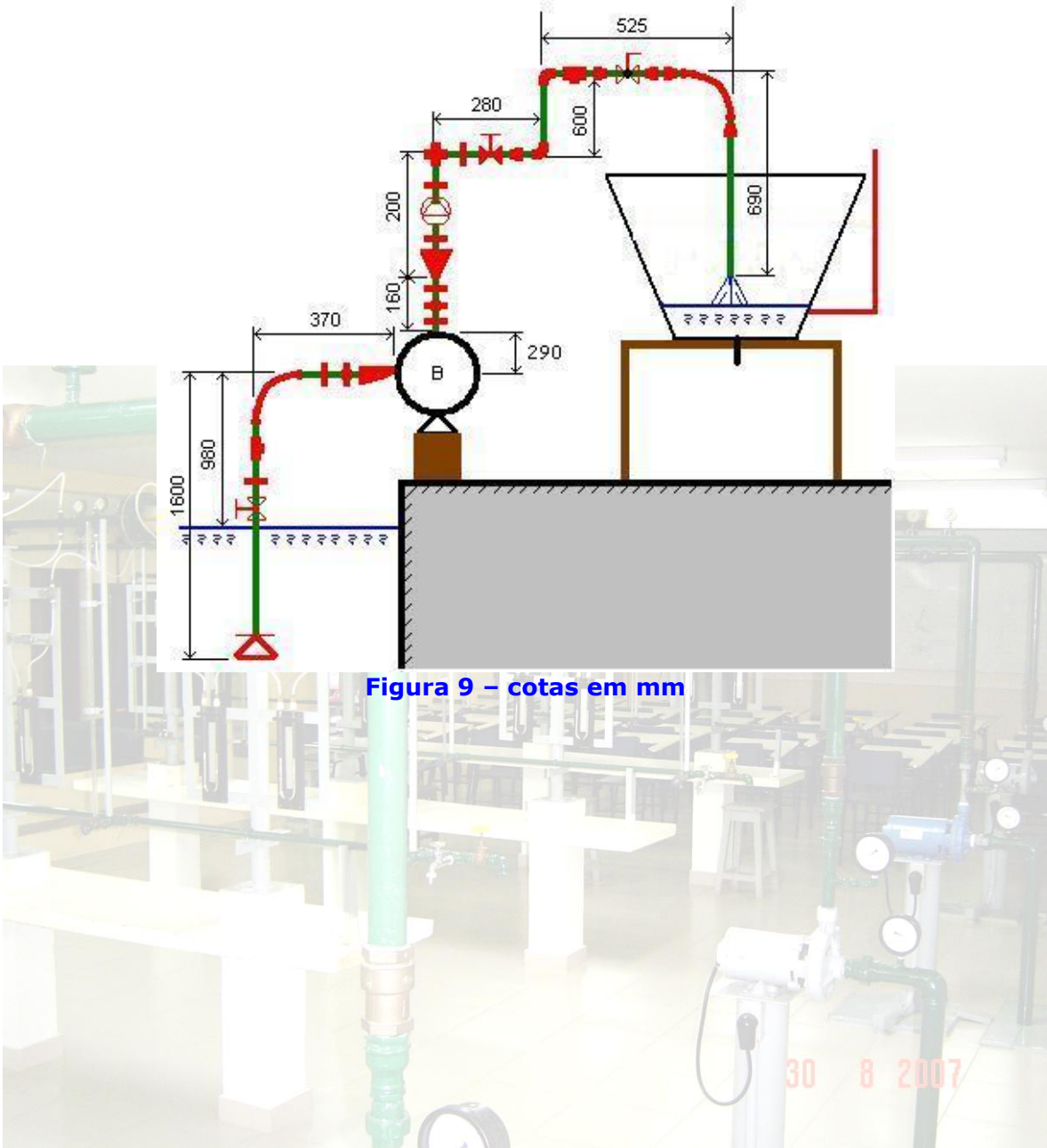
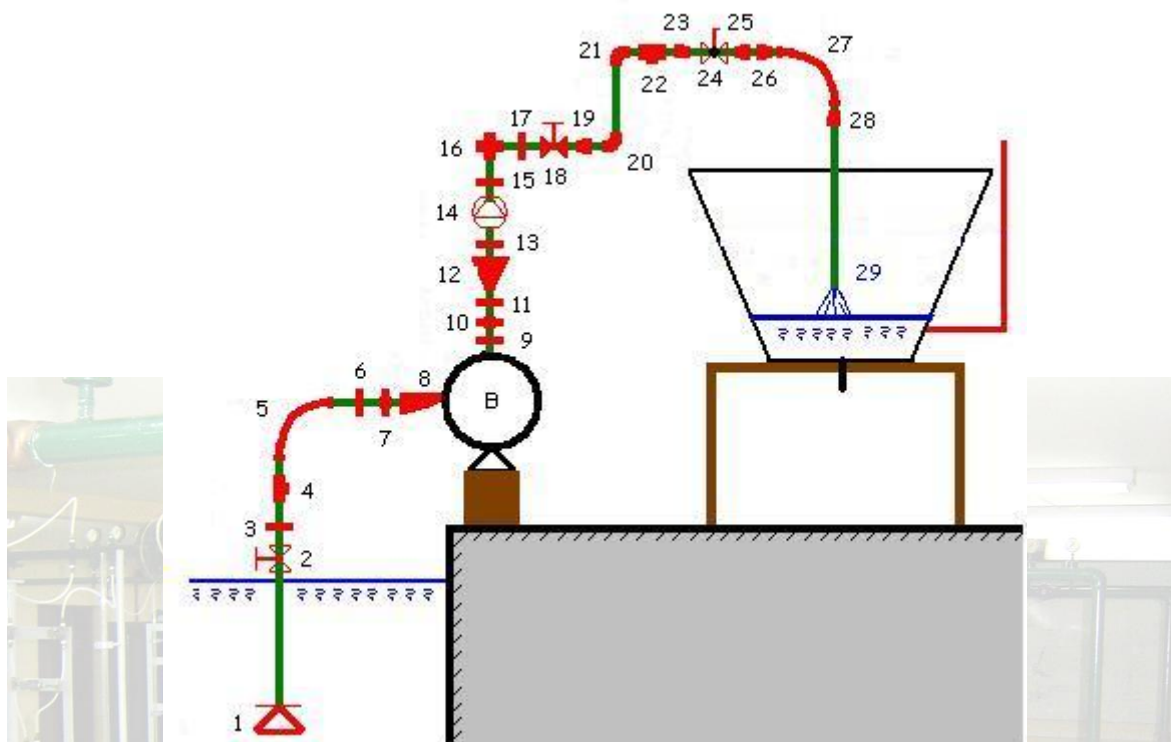


Figura 9 – cotas em mm



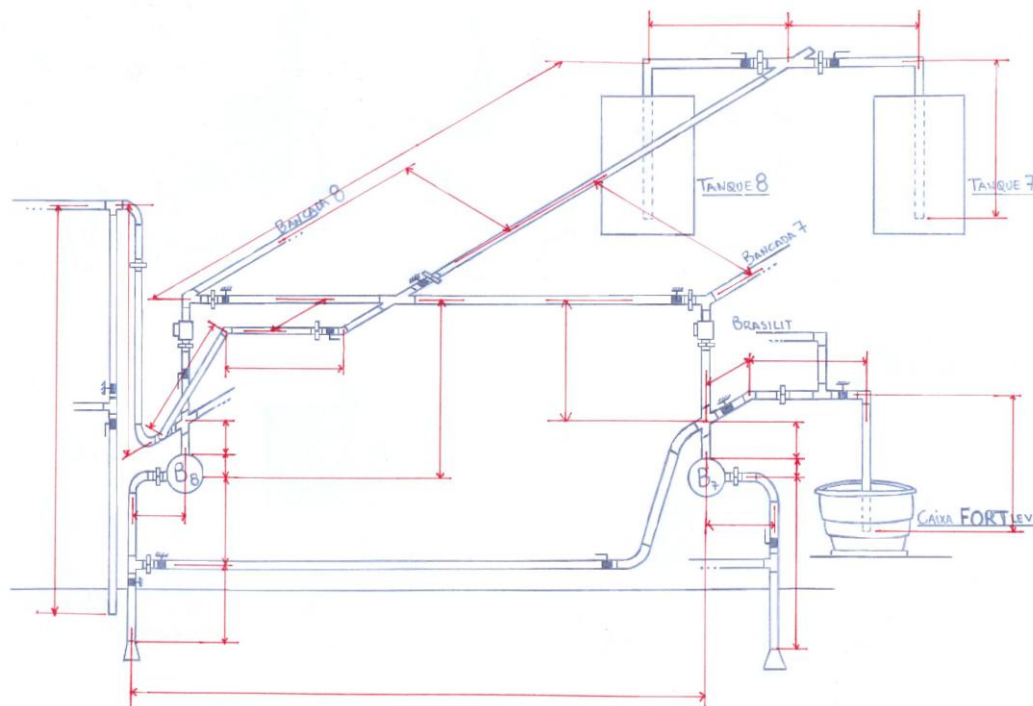
**Figura 10**

Observação: O comprimento equivalente do niple é igual ao comprimento equivalente da união

1. válvula de pé com crivo de 2"
2. válvula gaveta de 2"
3. niple de 2"
4. tê de redução de 2" para 1,5" e de passagem direta
5. curva longa fêmea de 90° e de 2"
6. niple de 2"
7. união de 2"
8. redução de 2" para 1,5"
9. niple de 1"
10. união de 1"
11. niple de 1"

12. ampliação de 1" para 1,5"
13. niple de 1,5"
14. válvula de retenção pesada de 1,5"
15. niple de 1,5"
16. cruzeta de 1,5" e de saída lateral
17. niple de 1,5"
18. válvula globo de 1,5"
19. adaptador de pvc de 1,5"
20. joelho de 90° de 1,5" de pvc
21. joelho de 90° de 1,5" de pvc
22. te de 1,5" de passagem direta de pvc
23. adaptador de pvc de 1,5"
24. válvula gaveta de 1,5"
25. adaptador de pvc de 1,5"
26. adaptador de pvc de 1,5"
27. curva longa fêmea de 90° e de 1,5"
28. adaptador de pvc de 1,5"
29. saída de tubulação

Exercício: Considerando o esboço representado pela figura 11, que representa parte das bancadas 7 e 8 do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI, pede-se além de colocar os valores dos comprimentos especificados, que seja elaborada uma legenda que indique todos os acessórios hidráulicos utilizados nos trechos considerados.



**Figura 11**

Para dar continuidade aos estudos relacionados às etapas básicas de um projeto de instalação de bombeamento é fundamental que seja evocado o conceito de carga total de uma seção do escoamento incompressível e em regime permanente, mesmo porque se deve calculá-la tanto na seção inicial como na seção final da instalação.

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} + \text{carga térmica}$$

Como o escoamento é considerado incompressível, pode-se afirmar que a carga térmica é praticamente constante em todas as seções do escoamento, isto muitas vezes faz com que só haja a preocupação com as cargas mecânicas, já que no balanço de cargas a variação da carga térmica é desprezível, portanto é comum se considerar que:

$$H_x = z_x + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{\alpha_x v_x^2}{2g}$$

Exemplo de aplicação: considerando uma das bancadas do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI, pede-se para a vazão máxima do escoamento, que se calcule respectivamente a carga total nas seções (1), (2), (3), (4) e (5), seções estas mostradas nas fotos e esquemas a seguir.



Seção (1), válvula globo e seção (2). A cota do centro do manômetro até o eixo do conduto é denominada de  $h_1$ .



Seção (3), redução de 1,5" para 1" e seção (4). O desnível do mercúrio no manômetro em U instalado entre as seções (3) e (4) é denominado de  $h_{3-4}$ .



Seção (3), redução de 1,5" para 1" e seção (4). O desnível do mercúrio no manômetro em U instalado entre as seções (3) e (4) é denominado de  $h_{3-4}$ .

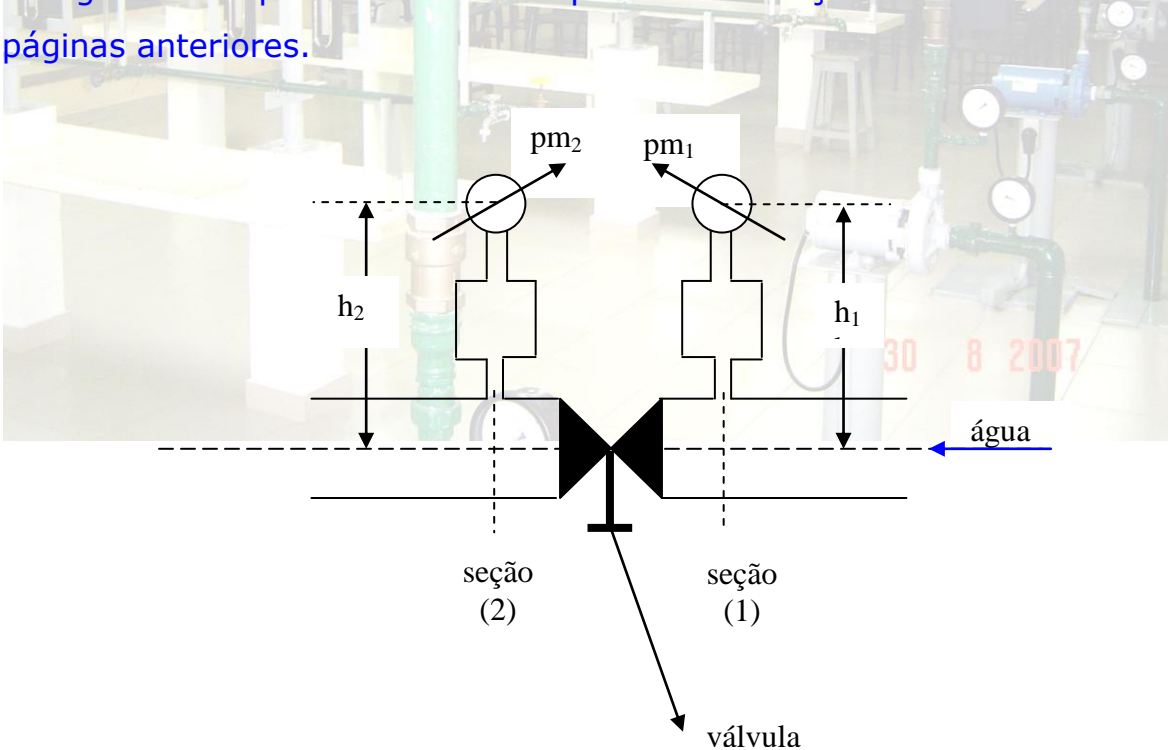


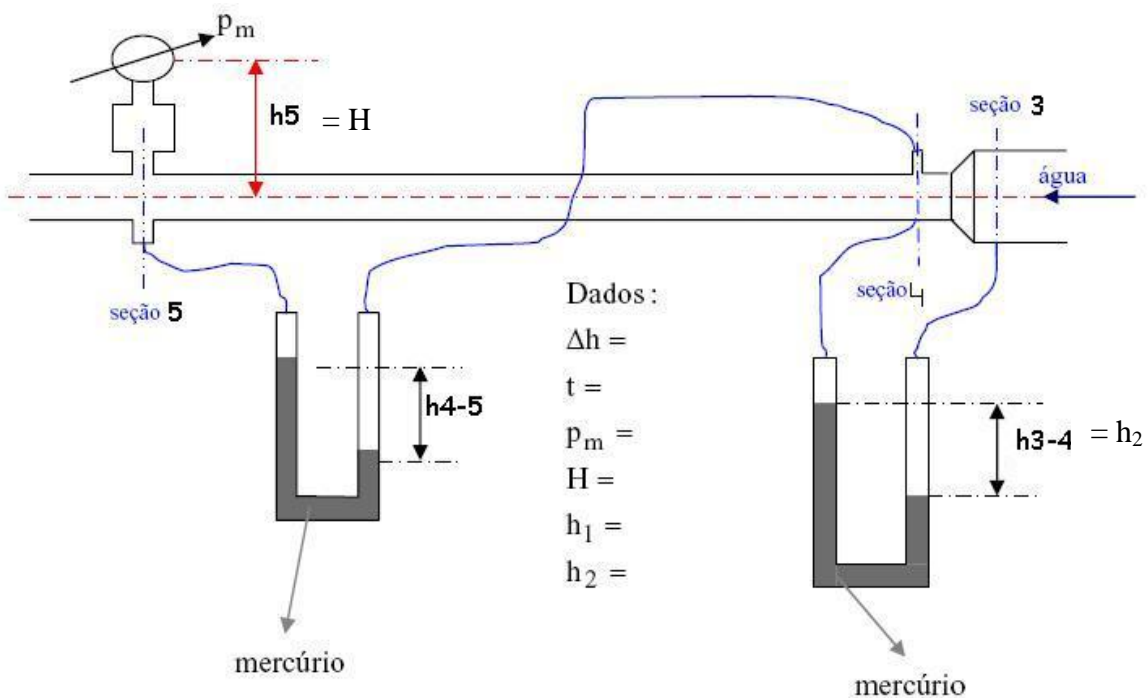
Seção (5) a montante da válvula sem volante. A cota do centro do manômetro (5) até o eixo do conduto será denominada de  $h_5$ . O desnível do mercúrio no manômetro em U instalado entre as seções (4) e (5) é denominado de  $h_{4-5}$ .

Ao lado o Fernando está determinando a vazão do escoamento, ou seja:  $Q = \frac{V}{t} = \frac{\Delta h \times A_{\text{tanque}}}{t}$



A seguir são representados os esquemas das seções mencionadas nas páginas anteriores.





Importante notar que o laboratório sofreu muitas alterações



As mudanças não podem ser só físicas, devem ocorrer também no planejamento e no dia a dia da disciplina, já que o processo ensino-aprendizado deve ser dinâmico e sempre centrado nos alunos.

Outra realidade é que a alegria, confiança e ética na educação podem e vão fazer a diferença!

Este exercício fez parte de atividades cujos gabaritos estão acessíveis no sítio:

[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/segunda\\_aula\\_complemento.htm](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/segunda_aula_complemento.htm)