Segunda aula de laboratório de ME5330

Refletindo sobre a primeira atividade prática e propondo a segunda atividade prática

Aplicação prática do balanço de carga em uma instalação de bombeamento

1. Considerando a instalação de bombeamento abaixo operando na vazão máxima, determine a perda de carga da entrada da bomba até a seção a montante (imediatamente antes) da válvula globo de 1,5”

Exemplo de dados coletados na bancada

Saída Bomba até válvula		**Bomba**		**Vazão**		**Válvula globo 1,5”**	
Δz1(cm)	101	Pme(mmHg)	-160	h(mm)	100	Pme(lbs/pol²)	21
Entrada e saída da bomba		Pms(KPa)	190	t(s)	21,26	he(cm)	24
Δz2(cm)	23	he(cm)	11	L(cm)	73,7		
		hs(cm)	9,5	C(cm)	74,1		

Convert **Transformações**

1 mmHg = 133,3224 Pa

1 psi = 6894,757 Pa

Equacionamento

$$H_B = (z_s - z_e) + \frac{(p_s - p_e)}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2 - \alpha_e \times v_e^2}{2g}$$

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{tanque}}{t} = \frac{\Delta h \times L \times C}{t}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$\alpha_e = \alpha_s \cong 1{,}0$$

$$p_s = p_{m_s} + \gamma_{água} \times h_s$$

$$p_e = p_{m_e} + \gamma_{água} \times h_e$$

$$z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} + H_B = z_{ev} + \frac{p_{ev}}{\gamma} + \frac{\alpha_{ev} \times v_{ev}^2}{2g} + H_{p_{e-ev}}$$

$$\therefore H_{p_{e-ev}} = (z_e - z_{ev}) + \frac{(p_e - p_{ev})}{\gamma} + \frac{(\alpha_e \times v_e^2 - \alpha_{ev} \times v_{ev}^2)}{2g} + H_B$$

Cálculos feitos através da planilha do Excel

Saída Bomba até válvula		Bomba		Vazão		Válvula	
$\Delta z1$(m)	1,01	Pe(Pa)	-20256,8	h(m)	0,1	Pme(Pa)	147134,8
Entrada e saída da bomba		Ps(Pa)	190928,2	t(s)	21,26		
$\Delta z2$(m)	0,23	**H_B (m)**	***22,7***	L(m)	0,737		
Ve (m/s)	**2,0**	**Hp (m)**	***4,4***	C(m)	0,741		
Vs (m/s)	**4,6**			**Vazão(m^3/s)**	**0,00257**		
v_{valv} (m/s)	**2,0**						

2. Para a instalação de bombeamento operando com a vazão máxima, determine a perda de carga na sucção.

Exemplo de dados coletados na bancada

nível-entrada bomba		Entrada da Bomba		Vazão	
Δz1(cm)	100	Pme(mmHg)	-165	h(mm)	100
		he(cm)	11	t(s)	22,93
				L(cm)	74
				C(cm)	74,2

Equacionamento

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{tan\,que}}{t} = \frac{\Delta h \times L \times C}{t}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$\alpha_e \cong 1{,}0$$

$$p_e = p_{m_e} + \gamma_{água} \times h_e$$

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_{ev} + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} + H_{p_{sucção}}$$

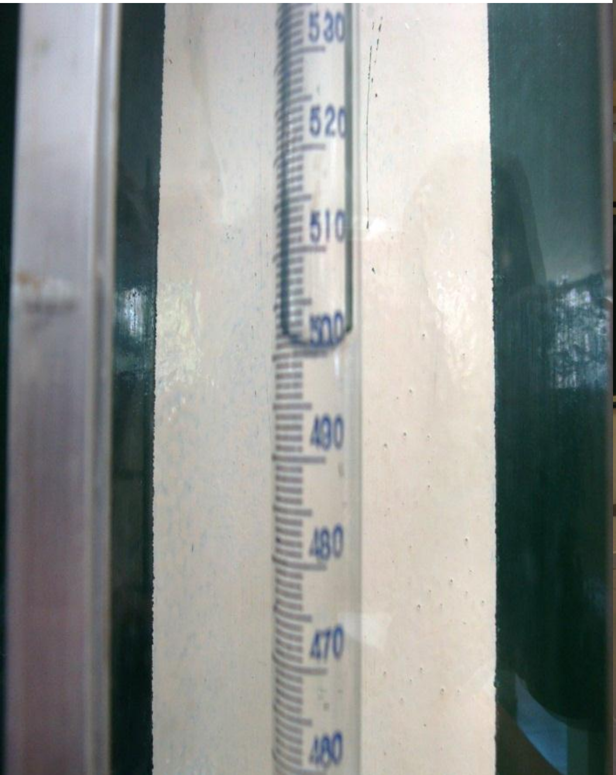
$$\therefore H_{p_{sucção}} = (0 - z_e) + \frac{(0 - p_e)}{\gamma} + \frac{\left(0 - \alpha_e \times v_e^2\right)}{2g}$$

Cálculos feitos através da planilha do Excel

nivel-entrada bomba		Entrada da Bomba		Vazão	
$\Delta z1$(m)	0,1	Pe(Pa)	-20923,4	h(m)	0,1
				t(s)	22,93
				L(m)	0,74
				C(m)	0,742

Cálculos					
Q(m^3/s)	0,00239	**V1(m/s)**	0,0	***Hp(m)***	***2,2***
		V2(m/s)	1,8		

3. Para a vazão que mantém o nível constante em 500 mm, determine a perda de recalque



Exemplo de dados coletados na bancada

Saída bomba - Cotovelo		**Bomba**		**Vazão**	
Δz_1(cm)	99,5	Pms(KPa)	270	h(mm)	50
Nível reservatório - cotovelo de chegada do reservatório		hs(cm)	9,5	t(s)	38,75
Δz_2(cm)	53			L(cm)	74
				C(cm)	74,1

Equacionamento

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{\tan que}}{t} = \frac{\Delta h \times L \times C}{t}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$\alpha_s \cong 1{,}0$$

$$p_s = p_{m_s} + \gamma_{água} \times h_s$$

$$z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2}{2g} = z_{nt} + \frac{p_{nt}}{\gamma} + \frac{v_{nt}^2}{2g} + H_{p_{recalque}}$$

$$\therefore H_{p_{recalque}} = \left(z_s - z_{nt}\right) + \frac{\left(p_s - 0\right)}{\gamma} + \frac{\left(\alpha_s \times v_s^2 - 0\right)}{2g}$$

Cálculos feitos através da planilha do Excel

Saída bomba - Cotovelo		**Bomba**		**Vazão**	
Δz1(m)	0,995	Ps(Pa)	270928,2	h(m)	0,05
Nível reservatório - cotovelo de chegada do reservatório		hs(m)	0,095	t(s)	38,75
Δz2(m)	0,53			L(m)	0,74
				C(m)	0,741

Cálculos					
Q(m³/s)	0,000708	V1(m/s)	1,3	**Hp (m)**	**27,3**
		V2(m/s)	0,000		

4. Considerando a bancada 4 operando com a máxima vazão, determine a perda de carga entre a entrada da bomba e a seção imediatamente antes da redução de 1,5”para 1”

Bomba		Vazão		redução	
Pme (mmHg)	-190	h(mm)	100	P(lbs/pol²)	18,2
Pms(KPa)	172	t(s)	21,43	PHR na entrada da Bomba = 1,24 m	
he(cm)	12	L(cm)	74		
hs(cm)	0	C(cm)	74,1		

Equacionamento

$$H_B = (z_s - z_e) + \frac{(p_s - p_e)}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2 - \alpha_e \times v_e^2}{2g}$$

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{tan\,que}}{t} = \frac{\Delta h \times L \times C}{t}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$\alpha_e = \alpha_s \cong 1{,}0$$

$$p_s = p_{m_s} + \gamma_{água} \times h_s$$

$$p_e = p_{m_e} + \gamma_{água} \times h_e$$

$$z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} + H_B = z_{e\_red} + \frac{p_{e\_red}}{\gamma} + \frac{\alpha_{e\_red} \times v_{e\_red}^2}{2g} + H_{p_{e-e\_red}}$$

$$\therefore H_{p_{e-e\_red}} = (z_e - z_{e\_red}) + \frac{(p_e - p_{e\_red})}{\gamma} + \frac{(\alpha_e \times v_e^2 - \alpha_{e\_red} \times v_{e\_red}^2)}{2g} + H_B$$

Cálculos feitos através da planilha do Excel

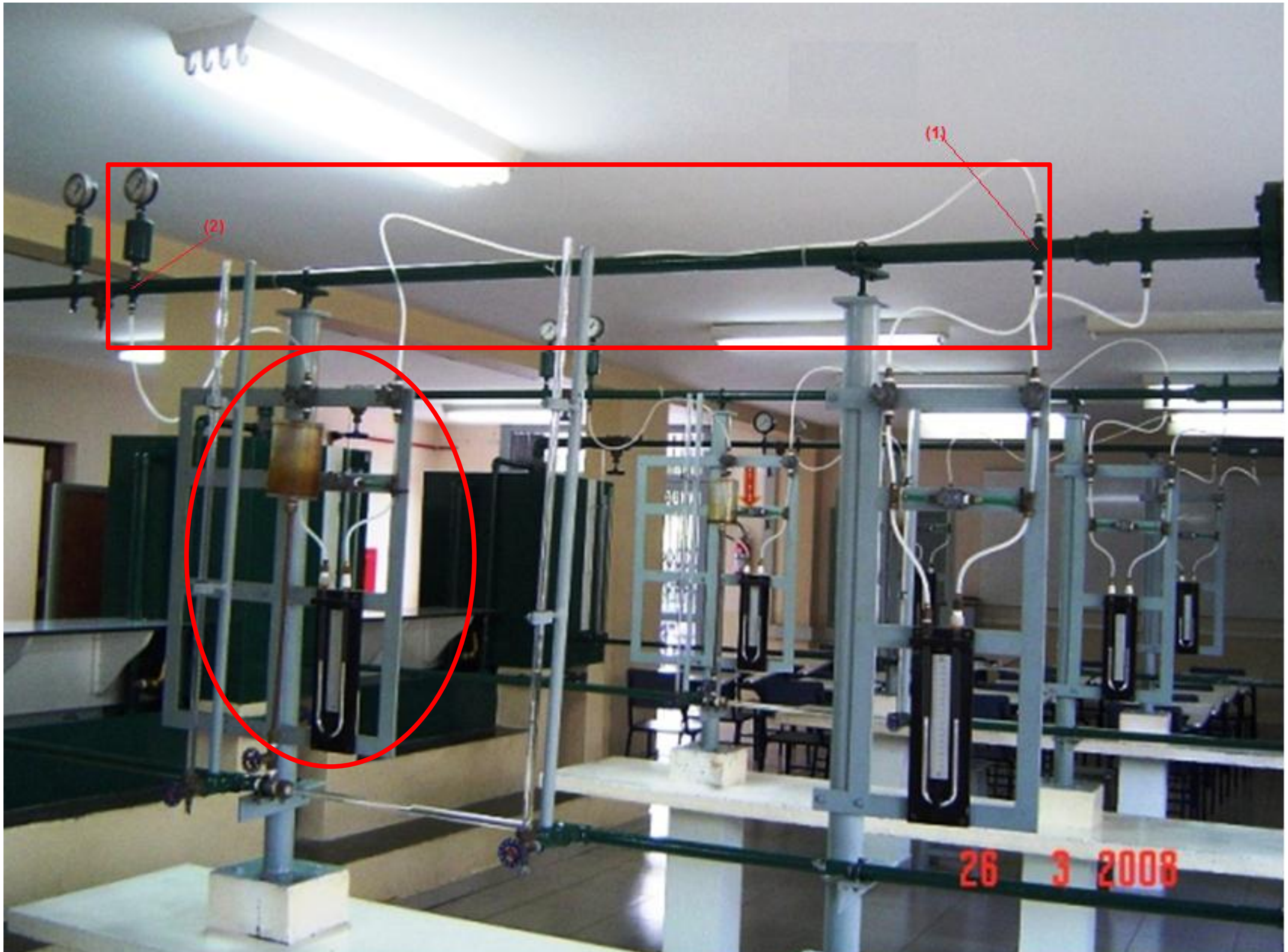
Bomba		Vazão		entrada da redução	
Pe(Pa)	-24158,8	h(m)	0,1	P(Pa)	127829,5
Ps(Pa)	172000	t(s)	21,43		
delta Z (m)	0,235	L(m)	0,74		
		C(m)	0,741		

Cálculos					
$Q(m^3/s)$	0,00256	Ve(m/s)	2,0	**Hp(m)**	**6,9**
		Vs(m/s)	4,6	**H_B(m)**	**21,2**
		Vvalv(m/s)	2,0		

5. Considerando a vazão máxima determine o coeficiente de perda de carga singular da válvula globo de 1,5" e o comprimento equivalente da válvula gaveta de 1"

Vazão		Válvula Globo		Gaveta		Perda distribuida	
h(mm)	100	Pme(lbs/pol²)	24	Pme(lbs/pol²)	15	h_{hf}(mm)	171
t(s)	21	Pms(lbs/pol²)	19	Pms(lbs/pol²)	12		
L(cm)	73,7	he(cm)	24,5	he(cm)	23,5		
C(cm)	74,3	hs(cm)	25	hs(cm)	25		

Trecho da bancada do laboratório



Equacionamento

$$H_{p_{valv}} = \frac{(p_e - p_s)}{\gamma} = h_{s_{valv}}$$

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{tanque}}{t} = \frac{\Delta h \times L \times C}{t}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$p_s = p_{m_s} + \gamma_{água} \times h_s$$

$$p_e = p_{m_e} + \gamma_{água} \times h_e$$

$$h_{s_{valv}} = k_s \times \frac{v^2}{2}$$

$$h_f = \frac{(\Delta p)}{\gamma} = h \times \left(\frac{\gamma_{Hg} - \gamma_{água}}{\gamma_{água}} \right) = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v_2}{2g}$$

$$Leq = \frac{k_s \times D_H}{f}$$

Cálculos feitos através da planilha do Excel

Vazão		**Válvula Globo**		**Gaveta**		**Perda distribuida**	
h(m)	0,1	Pe(Pa)	167867,97	Pe(Pa)	105717,4	Δh(m)	0,171
t(s)	21	Ps(Pa)	133394,18	Ps(Pa)	85179,73	hf (m)	2,2
L(m)	0,737					v(m/s)	4,7
C(m)	0,743						

Cálculos					
Q(m³/s)	0,00261	Hpglobo(m)	3,5	Hpgaveta(m)	2,1
		Ks	**17,5**	f	0,02558
				Ks	1,88
				Leq(m)	**2,0**

6. Para a vazão que mantém o nível constante de 600 mm no reservatório superior, pede-se determinar a perda de carga na sucção e no recalque

Perda na sucção

Exemplo de dados coletados na bancada

<table>
<tr><th colspan="2">Vazão</th><th colspan="2">Bomba</th><th colspan="2">Sucção</th><th colspan="2">Recalque</th></tr>
<tr><td>h(mm)</td><td>50</td><td>he(cm)</td><td>0</td><td colspan="2">nível-entrada bomba</td><td colspan="2">Saída até altura máx</td></tr>
<tr><td>t(s)</td><td>34,4</td><td>hs(cm)</td><td>11</td><td>Δz(cm)</td><td>101</td><td>Δz(cm)</td><td>119</td></tr>
<tr><td>L(cm)</td><td>73,7</td><td>Pme(mmHg)</td><td>-115</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">Alt max até nivel do res</td></tr>
<tr><td>C(cm)</td><td>74,3</td><td>Pms(KPa)</td><td>337,5</td><td colspan="2"></td><td>Δz(cm)</td><td>104</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Δz(cm)</td><td>23,5</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

Equacionamento

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{\tan que}}{t} = \frac{\Delta h \times L \times C}{t}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$\alpha_e \cong 1{,}0$$

$$p_e = p_{m_e} + \gamma_{água} \times h_e$$

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_{ev} + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} + H_{p_{sucção}}$$

$$\therefore H_{p_{sucção}} = (0 - z_e) + \frac{(0 - p_e)}{\gamma} + \frac{\left(0 - \alpha_e \times v_e^2\right)}{2g}$$

Equacionamento

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{\tan que}}{t} = \frac{\Delta h \times L \times C}{t}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$\alpha_s \cong 1{,}0$$

$$p_s = p_{m_s} + \gamma_{água} \times h_s$$

$$z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2}{2g} = z_{nt} + \frac{p_{nt}}{\gamma} + \frac{v_{nt}^2}{2g} + H_{p_{recalque}}$$

$$\therefore H_{p_{recalque}} = \left(z_s - z_{nt}\right) + \frac{\left(p_s - 0\right)}{\gamma} + \frac{\left(\alpha_s \times v_s^2 - 0\right)}{2g}$$

Cálculos feitos através da planilha do Excel

Vazão		**Bomba**		**Sucção**		**Recalque**	
$\Delta h(m)$	0,05	Pe(Pa)	-15332,1	**nível-entrada bomba**		**Saída até altura máx**	
t(s)	34,4	Ps(Pa)	338574,8	$\Delta z(m)$	1,01	$\Delta z(m)$	0,970
L(m)	0,737					**alt máx até o nível**	
C(m)	0,743					$\Delta z(m)$	0,360

Cálculos					
$Q(m^3/s)$	0,000796	**Hpsucção(m)**	**0,6**	**Hprecalque(m)**	**34,1**
Ve(m/s)	0,367				
Vs(m/s)	0,608				
$V_f(m/s)$	0				

7. Para a vazão máxima determine a perda de carga da saída da bomba até a entrada da válvula gaveta de 1”

Exemplo de dados coletados na bancada

Vazão		**Bomba**		**Gaveta**	
Δh(mm)	100	hs(cm)	24	P_{mevalv}(KPa)	70
t(s)	17,77	Pms(psi)	24	he(cm)	8,5
L(cm)	74	**Saída - altura máxima**			
C(cm)	73,5	Δz(cm)	87,5		

Cálculos feitos através da planilha do Excel

Vazão		Bomba		Gaveta	
$\Delta h(m)$	0,1	$P_{ms}(Pa)$	165474,2	$P_{evalv}(Pa)$	70830,5
$t(s)$	17,77	$P_s(Pa)$	167868,0		
$L(m)$	0,74	**Saída - altura máxima**			
$C(m)$	0,735	$\Delta z(m)$	0,875		

Cálculos			
$Q(m^3/s)$	0,00306	**Hp(m)**	**7,8**
$V_s(m/s)$	2,3		
$V_{valv}(m/s)$	5,5		

Dados para as bancadas

Temperatura da água igual a $25^{0}C$

$g = 9{,}8\ m/s^2$

Dados obtidos	
ρágua(Kg/m^3)	997
γágua(N/m^3)	9770,6
1''	
D(mm)	26,6
A(cm^2)	5,57
1,5'	
D(mm)	40,8
A(cm^2)	13,1
2''	
D(mm)	52,5
A(cm^2)	21,7


Cada equipe deve procurar localizar na bancada o trecho onde se calculou a perda pelo balanço de cargas e após isto calcular a perda através da fórmula universal e comparar os resultados.

$$H_{p_D} = f_D \times \frac{\left(L + \sum Leq\right)_D}{D_{H_D}} \times \frac{Q^2}{2g \times A_D^2}$$