

### 10.3. Exercícios

“Só somos porque estamos sendo. Estar sendo é a condição, entre nós, para ser. Não é possível pensar os seres humanos longe, sequer, da ética, quanto mais fora dela. Estar longe ou pior, fora da ética, entre nós, mulheres e homens, é uma transgressão”. (Paulo Freire escreveu na página 36 do livro: Pedagogia da Autonomia, 13ª edição e editado pela Editora Paz e Terra. São Paulo, 1999)

O engenheiro não deve passar a procuração a ninguém para falar ou fazer por ele, por este motivo deve assumir o "volante" de sua formação e se conscientizar que deve aprender continuamente e sempre que possível aprender fazendo.

1. Refazer o exercício anterior referente à associação série de bombas hidráulicas, onde as alterações propostas são:

- ✓ para o item (b) o reservatório está pressurizada com uma pressão igual a 2 kgf/cm<sup>2</sup>;
- ✓ considerar a CCI em função do coeficiente de perda de carga distribuída (f), o qual, se necessário, deve ser calculado em função da vazão e considerando-se a água a 4°C.

Notas:

- ✓ as propriedades da água podem ser obtidas no endereço:

[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/mecflu2\\_2\\_2007.htm](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/mecflu2_2_2007.htm)

- ✓ o gabarito do exercício proposto pode ser acessado no endereço:

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

2. O esquema dado pela figura 45 e a foto dada pela figura 46 representam a associação em série das bombas das bancadas 7 e 8 do laboratório de mecânica dos fluidos (sala IS01 do Centro Universitário da FEI).

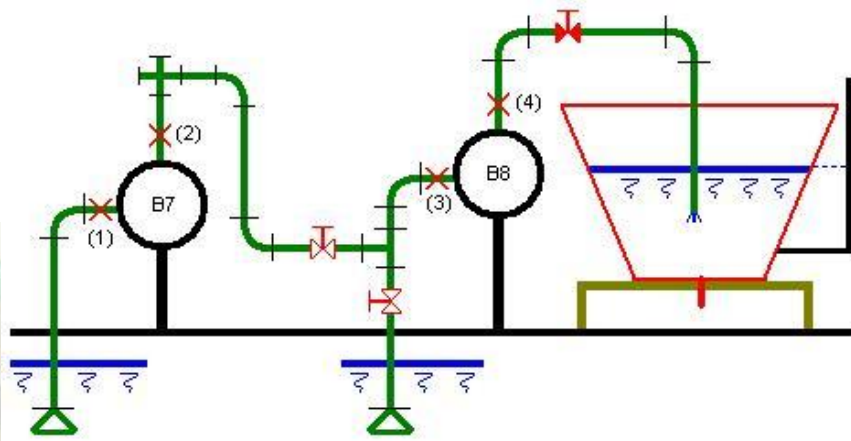


Figura 45



Figura 46

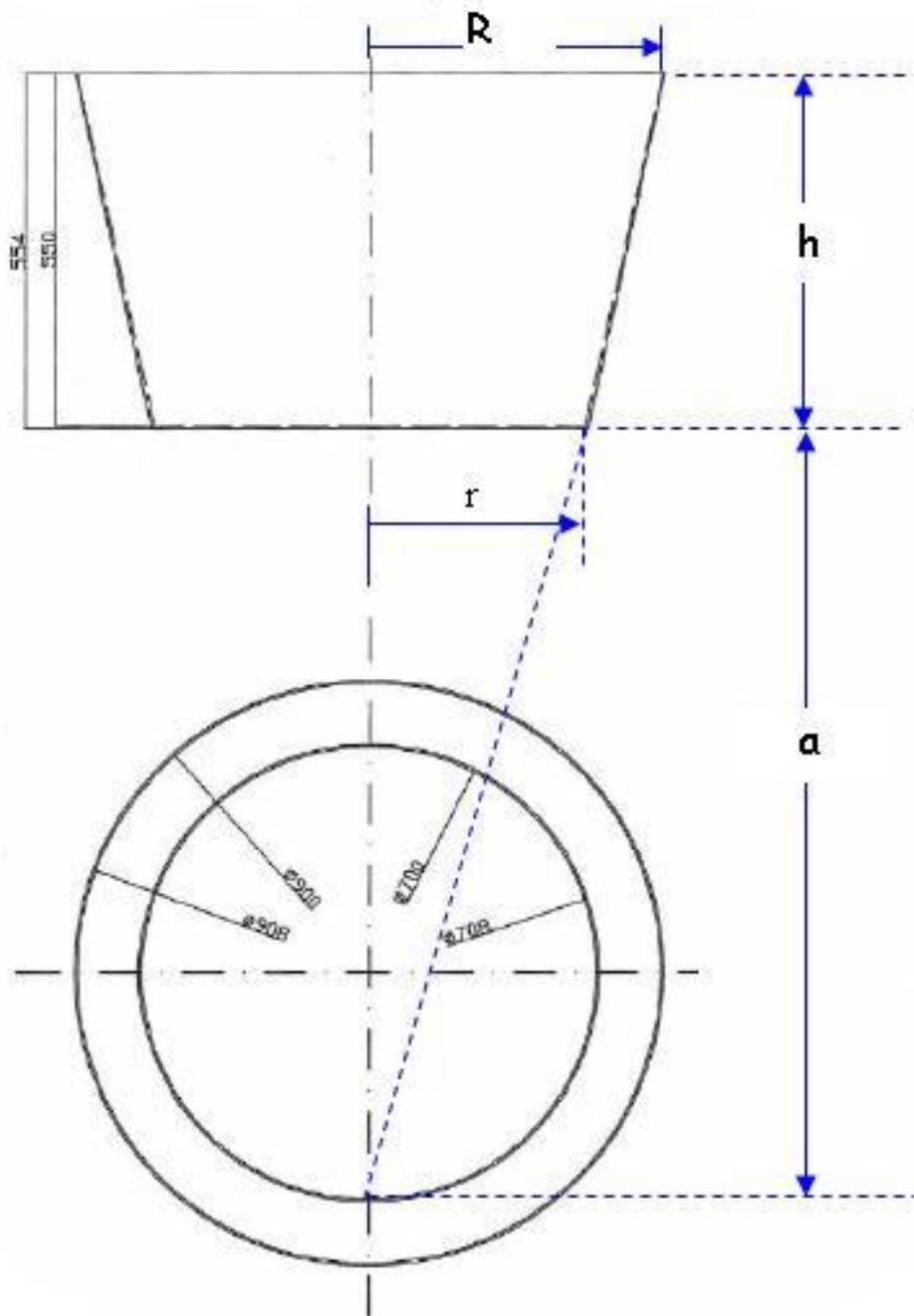
Considerando o PHR no chão do laboratório, a máxima vazão do escoamento, os dados colhidos nas bancadas para esta vazão, sem a determinação do coeficiente de perda de carga distribuída e sem a especificação dos comprimentos equivalentes, pede-se determinar: a perda de carga entre as seções (2) e (3); a perda de carga na tubulação de sucção da bomba B7 e a perda de carga para a tubulação de recalque da bomba B8.

Após as determinações anteriores, pede-se desenvolver a experiência da associação em série das bombas B7 e B8 para a instalação com menor perda de carga (esquema acima), objetivando: a determinação experimental da curva característica da associação em série das bombas B7 e B8 e a comparação da curva anterior com a curva característica da associação em série obtida através da CCB dada pelo fabricante da bomba.

Dados do tronco de cone, onde as cotas são dadas em "mm"



Petit – estará sempre em meu coração



A solução do problema anterior, **com dados antigos**, pode ser acessada no endereço:

[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/solucao\\_da\\_associacao\\_serie.htm](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/solucao_da_associacao_serie.htm)

3. A instalação de bombeamento representada a seguir foi projetada para atender a uma vazão desejada de 4,35 L/s e na necessidade de se ter uma pressão de entrada do processo ( $p_x$ ) igual a 2,8 kgf/cm<sup>2</sup> deve-se trabalhar com duas bombas iguais associadas em série.

A instalação em questão tem apenas uma tubulação de aço de diâmetro nominal de 2" e espessura 40 (diâmetro interno é igual a 52,5 mm e área de seção livre igual a 21,7 cm<sup>2</sup>) e a bomba selecionada tem as características:

Q (m <sup>3</sup> /h)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
H <sub>B</sub> (m)	24,5	24,2	23,8	22,8	21,8	20,5	18,9	17	14,8	11,9
η <sub>B</sub> (%)			42	52,5	58,2	62,5	64,5	62,5	58,2	52,5
NPSH (m)		2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	3,5	4	4,4	4,5

A instalação, quando opera com as bombas associadas em série, é composta das seguintes singularidades:

Item	Quantidade	Singularidade	Leq unitário em m
1	1	Saída (entrada) normal	0,7
2	9	Cotovelos de raio médio	1,4
3	4	Registros de gaveta aberto	0,4

Item	Quantidade	Singularidade	$L_{eq}$ unitário em m
4	1	Registro globo aberto	17,4
5	1	Válvula de retenção tipo pesada	6,4
6	1	Tê saída de lado	3,5
7	1	Cotovelo de saída lateral	3,25
8	14	Uniões	0,1
9	12	Nipples	0,1
10	4	Flanges	0,1

Sabendo-se que o fluido a ser bombeado é a água com a massa específica igual a  $998,01 \text{ kg/m}^3$ ; viscosidade igual a  $0,0010008 \text{ kg/(ms)}$  e pressão de vapor na escala absoluta igual a  $2337,22 \text{ Pa}$  e que a pressão barométrica é igual a  $700 \text{ mmHg}$ ; pede-se:

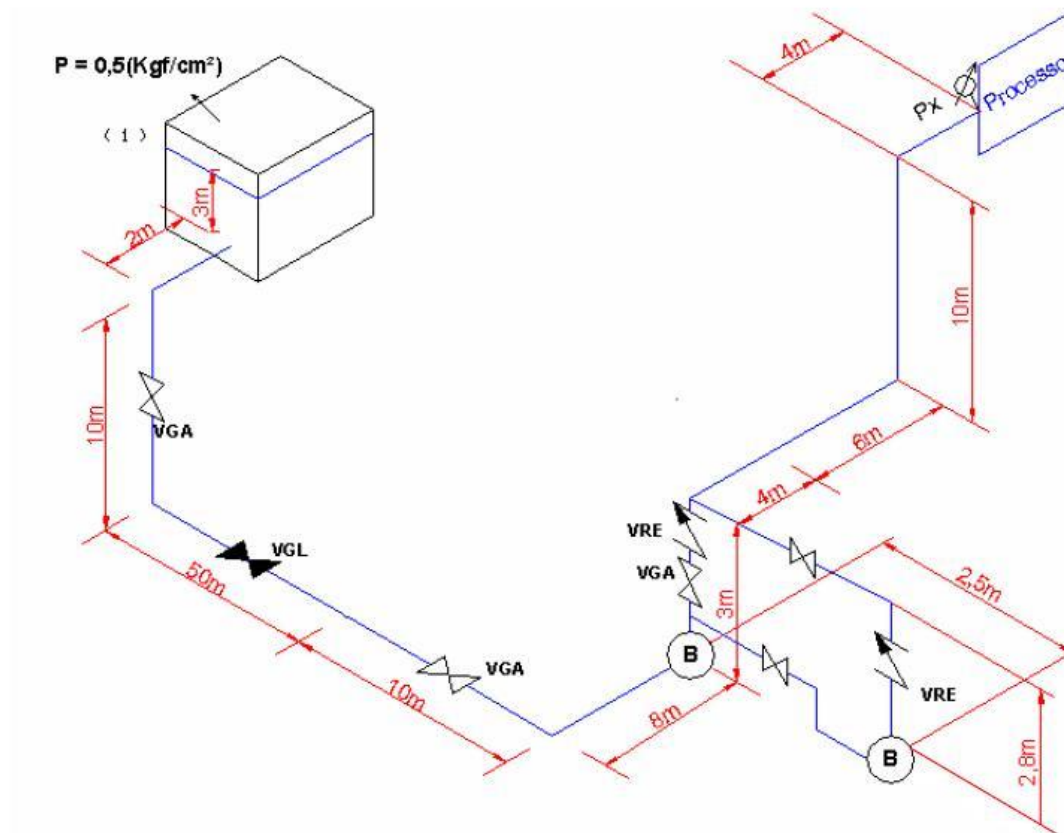
- obter a CCB da associação em série das bombas;
- justificar a necessidade da associação em série;
- verificar se a vazão é atendida;
- verificar o fenômeno de cavitação.
- a potência consumida mensal sabendo-se que a rede é de  $220 \text{ V}$  e que a instalação opera 12 horas por dia e todos os dias do mês.

Dado: Para as condições da instalação considere os coeficientes de perda de carga especificados pela tabela abaixo:

Q ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	4	8	12	16	20	24	28	32	36
f	0,0262	0,0234	0,0223	0,0216	0,0212	0,0209	0,0206	0,0204	0,0203

A solução do exercício proposto pode ser acessada no endereço:

[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/aula12\\_inversor\\_de\\_frequencia.htm](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2007/aula12_inversor_de_frequencia.htm)



Os comprimentos equivalentes foram determinados através da tabela a seguir, com exceção do cotovelo de saída lateral, que foi obtido do CD da Tupy.

### 1.11.17 COMPRIMENTOS EQUIVALENTES A PERDAS LOCALIZADAS

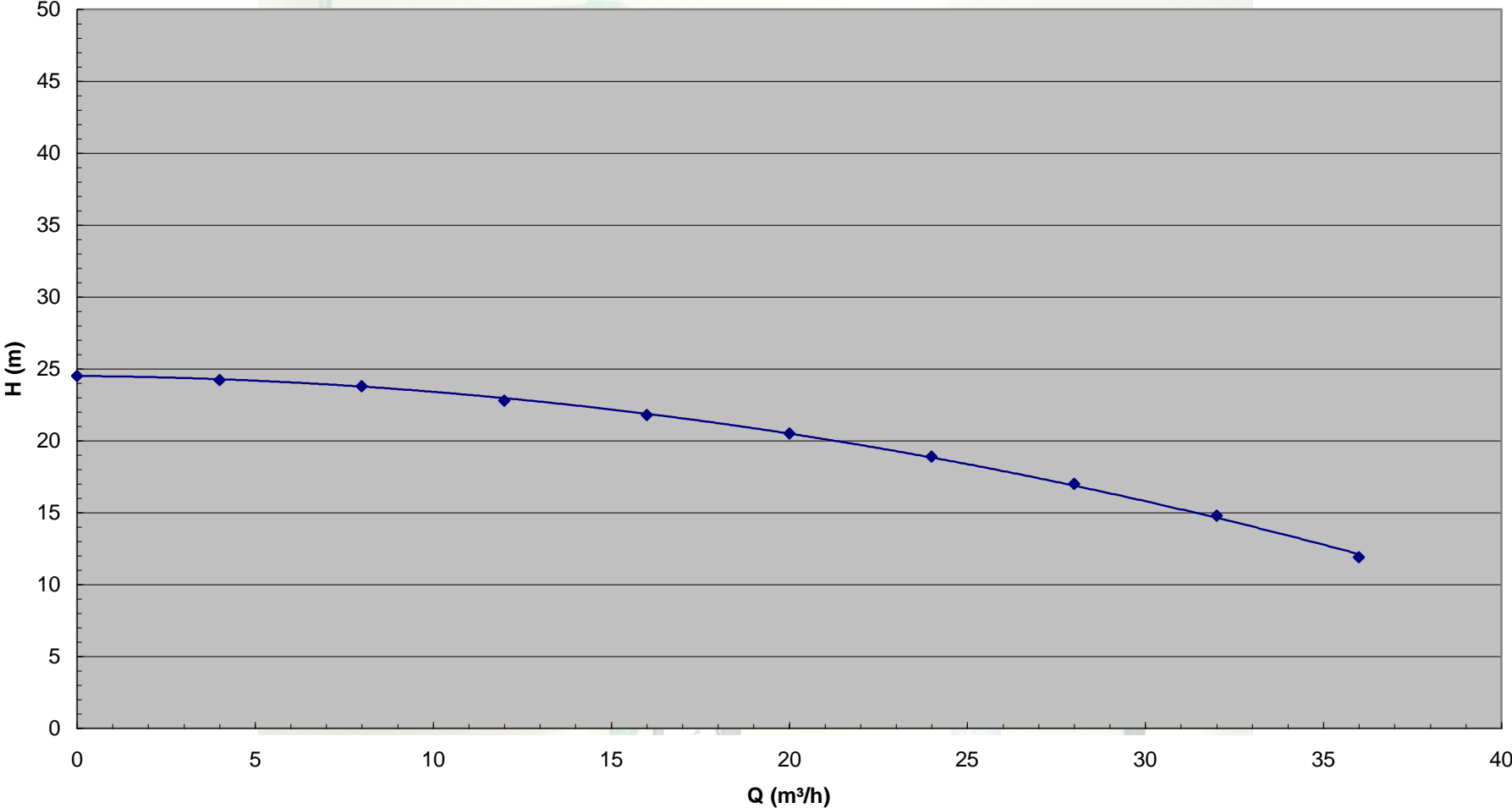
Comprimentos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retilínea)\*

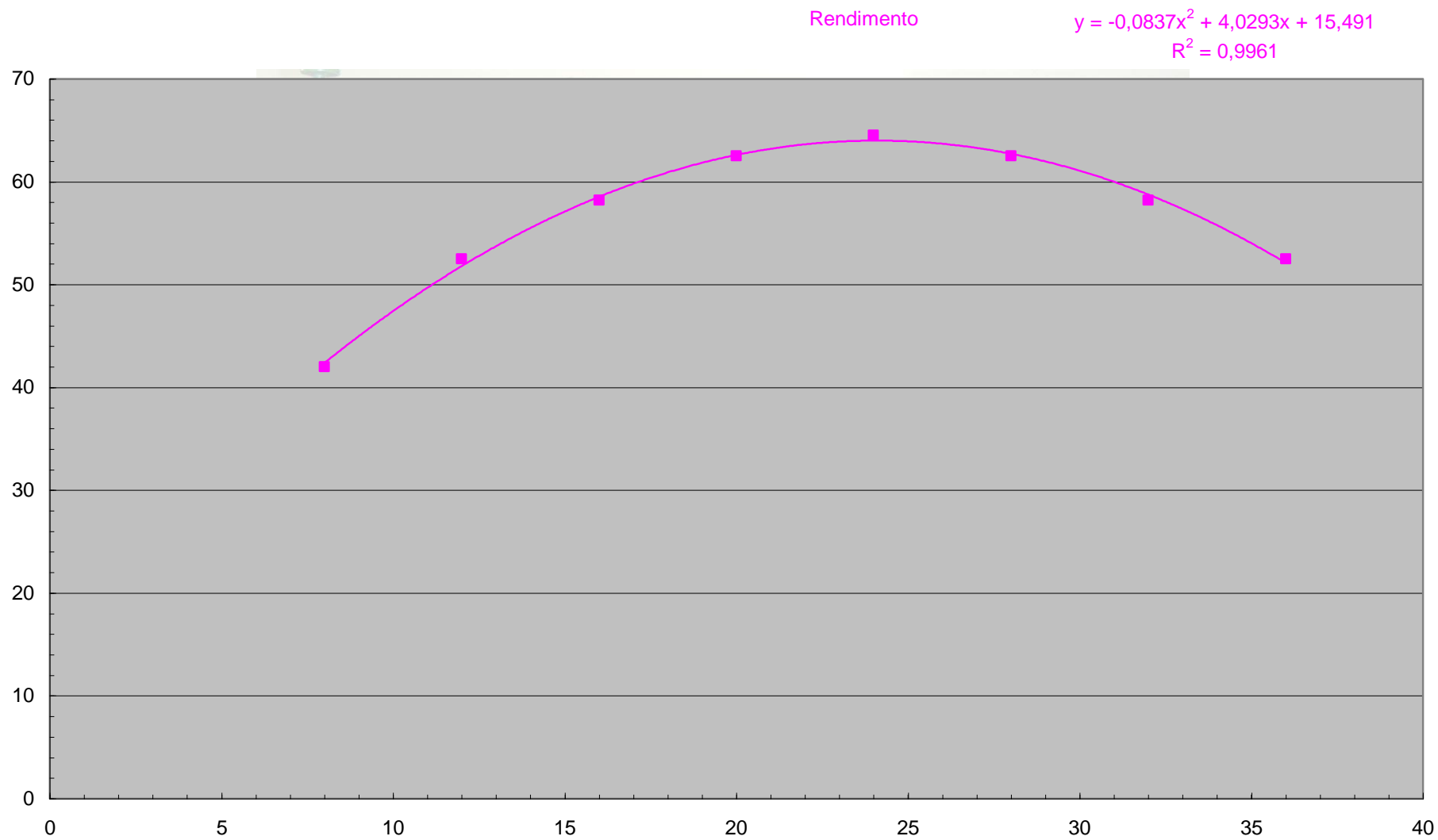
DIÂMETRO D	Comprimentos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retilínea)*																				
	mm	pol.	COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MEDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D - 1/2	CURVA 90° R/D - 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAVETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ÂNGULO ABERTO	TÊ PASSAGEM DIRETA	TÊ SAÍDA DE LADO	TÊ SAÍDA BILATERAL	VÁLVULA DE PE E CRIVO	SAÍDA DA CANALIZAÇÃO	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
13	½	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	¾	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 ¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 ½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 ½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

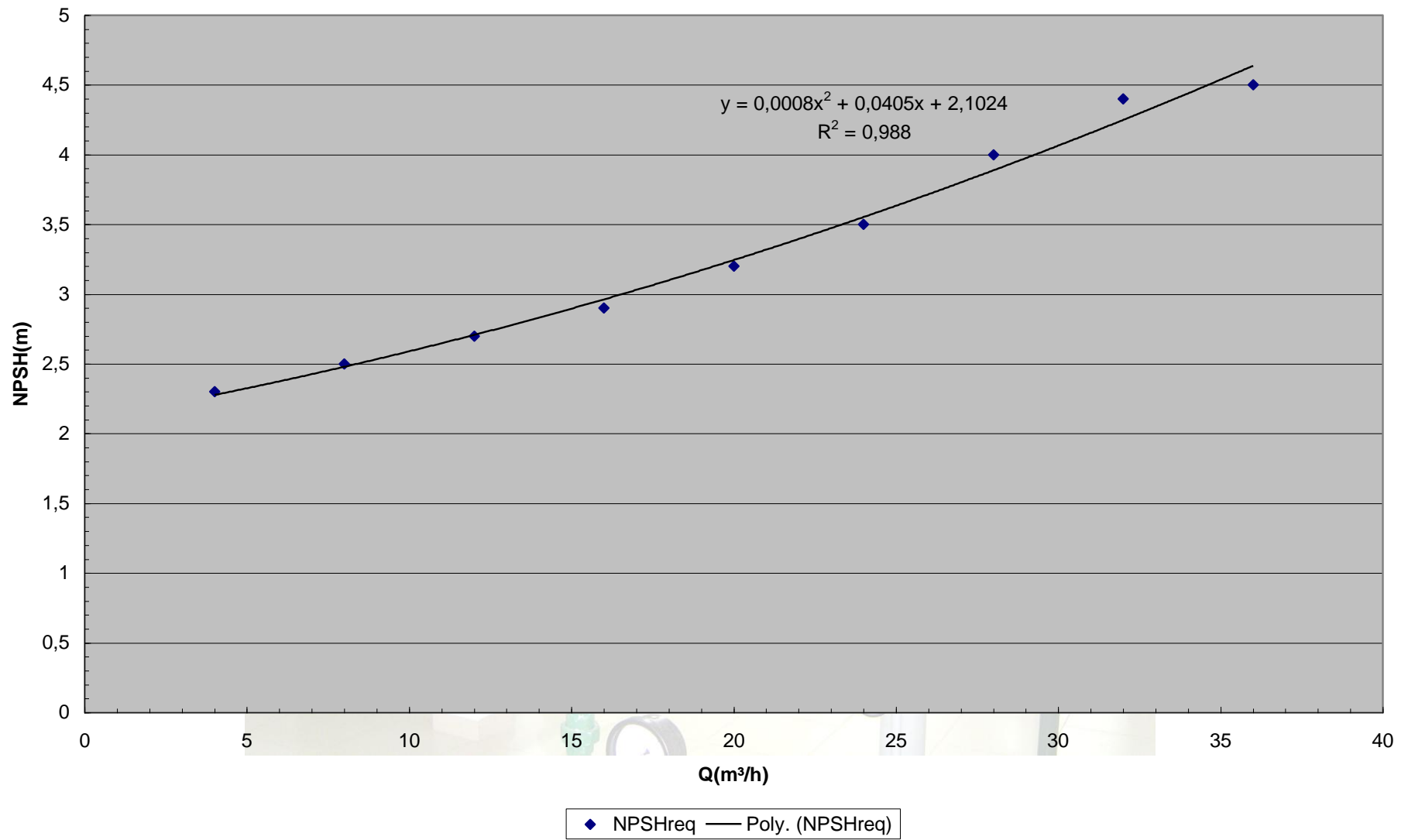
\* Os valores indicados para registros de globo, aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.

**CCB**

$y = -0,009x^2 - 0,0202x + 24,5$   
 $R^2 = 0,9992$







4.

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

Para viabilizar o escoamento mencionado, necessita-se:

- 1º - manter a válvula esfera 1 aberta;
- 2º - manter a válvula globo 2 fechada;
- 3º - manter a válvula gaveta 3 aberta;
- 4º - manter a válvula gaveta 4 fechada;
- 5º - manter a válvula globo 5 fechada;
- 6º - manter a válvula esfera 6 fechada;
- 7º - manter a válvula globo 7 fechada;
- 8º - manter a válvula esfera 8 fechada;
- 9º - manter as válvulas esfera 9, 10 e 11 fechadas;
- 10º - manter a válvula esfera 12 aberta;
- 11º - controlar a vazão pela válvula globo 13.

Importante:

Na 1ª foto ao lado ainda se tinha a mesma bomba (INAPI) nas duas bancadas.



A seguir são mostradas as seções consideradas na realização da experiência da associação em série:



Ao realizar a experiência obteve-se a tabela a seguir:

Associação em série dados obtidos em 04 de abril de 2007

Ensaio	Bomba RUDC bancada 7			Bomba INAPI bancada 8			Det. da vazão	
	$p_e$ (mmHg)	$p_s$ (kPa)	$n$ (rpm)	$p_e$ (bar)	$p_s$ (kPa)	$n$ (rpm)	$\Delta h$ (mm)	$t$ (s)
1	-100	360	3520	3,6	515	3460	0	-
2	-160	330	3450	3,25	475	3420	100	39,27
3	-140	300	3425	2,8	430	3370	100	24,17
4	-160	270	3400	2,45	375	3370	100	19,03
5	-180	240	3430	2,15	320	3350	100	16,67
6	-210	210	3355	1,75	260	3340	100	14,99
7	-240	180	3460	1,4	205	3320	100	13,99
8	-240	170	3370	1,2	190	3360	100	12,77
9	-260	155	3350	1	160	3390	100	12,67

Informações bancada 7

$\Delta Z$	$D_{Ne}$	$D_{Ns}$
330 mm	1.5"	1.5"

bancada 8

$\Delta Z$	$D_{Ne}$	$D_{Ns}$
330 mm	1.5"	1"

tanque

$A=0,546m^2$
--------------

O dados, tanto para a bomba RUDC RF-6 (bancada 7) e INAPI (bancada 8) fornecidos pelos fabricantes são dados pelas tabelas a seguir:

RUDC 3500 rpm			INAPI 3500 rpm			
Q(m <sup>3</sup> /h)	HB(m)	ηB (%)	Q(m <sup>3</sup> /h)	HB (m)	ηB (%)	NPSH (m)
0	38,75		0	26		
7	35	47	2,8	25,95	45	
9,6	30	56,2	4	25,9	49,5	0,8
10,5	28	56,5	4,8	25,5	52	0,9
11	26	55,7	5,8	25	54	1
11,5	24	55,2	6,8	24	55,3	1,1
12	22	54	7,2	23	56	1,15
12,5	20	52	9	20,5	54,7	1,3
12,8	18	49,5	9,5	18,7	54	1,4
			10,3	16,5	52	1,45
			10,8	14	49,5	1,5

Considere que os ensaios foram realizados com uma leitura barométrica igual a 700 mm Hg e com a água a 30°C ( $\rho = 995,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ;  $\mu = 0,000788 \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}}$ ;  $p_{\text{vapor}} = 4241,51 \text{Pa}(\text{abs})$ ) e que a aceleração da gravidade é 9,8 m/s<sup>2</sup>.

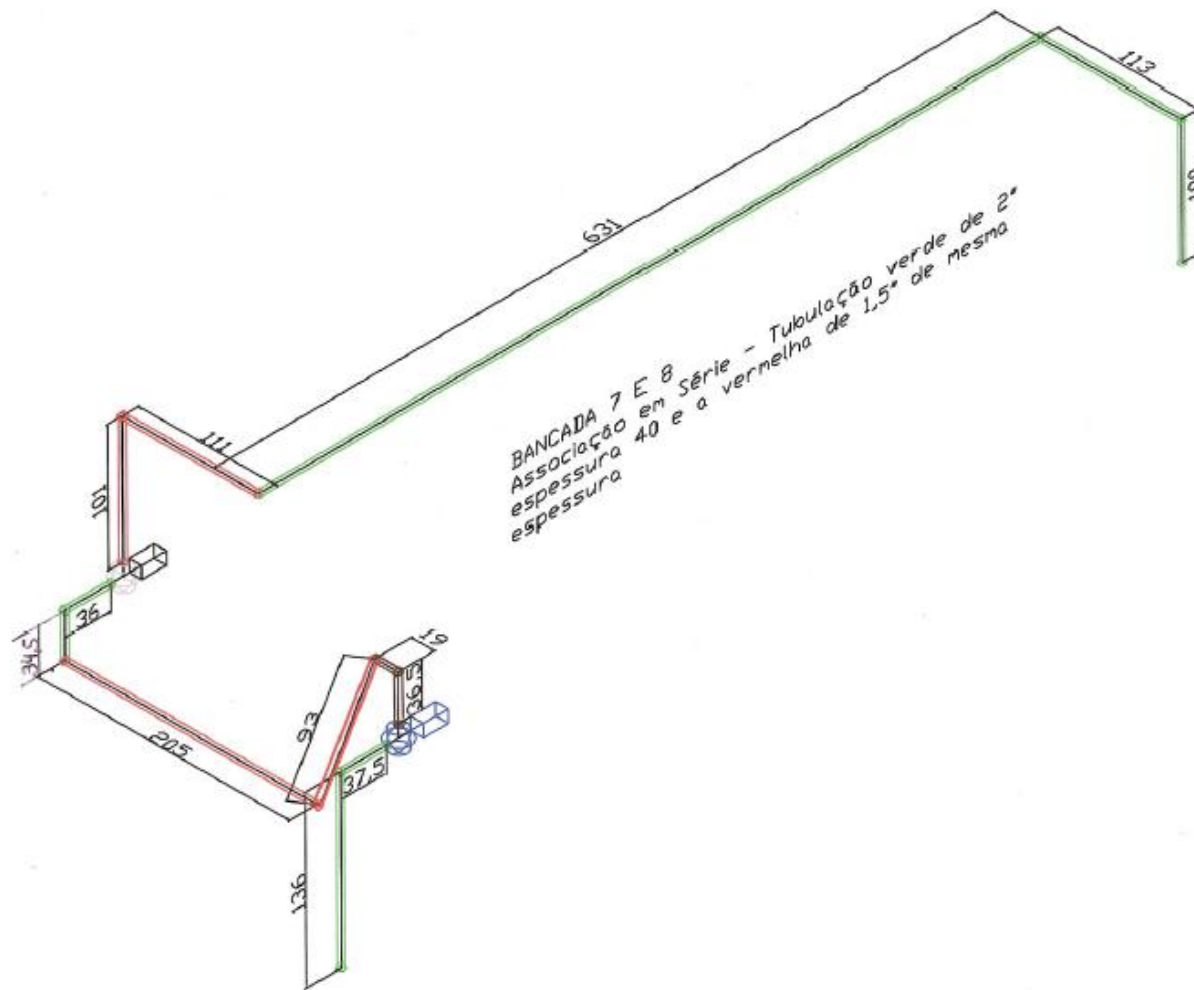
A seguir são fornecidas as isométricas, tanto da associação em série como da associação em paralelo das bombas das bancadas 7 e 8 do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI, onde adotando-se o plano horizontal de referência no nível de captação se tem  $Z_e = 105 \text{ cm}$  e  $Z_{sf} = 126 \text{ cm}$ , onde  $Z_e =$  cota da seção de entrada das bombas e  $Z_{sf} =$  cota da seção final da instalação, a qual encontra-se dentro do reservatório de distribuição e onde se tem a carga cinética na seção de saída.

A instalação representada pela isométrica apresenta os seguintes comprimentos equivalentes:

	$\Sigma l_{eq}$ (m)	L(m)
Tubulação de sucção de 2"	22,98	
Tubulação de recalque trecho de 1"	0,6	0
Tubulação de recalque trecho de 1,5"	59,60	
Tubulação de recalque trecho de 2"	23,67	



Fanny



Pede-se:

1. a perda de carga entre o trecho formado pelas seções (2) e (3) para o ensaio 9 da experiência de associação em série (dados obtidos em 04 de abril de 2007) (valor – 1,5);
2. obter a equação, através da curva de tendência, do NPSHreq em função da vazão (valor – 1,5);
3. o ponto de trabalho considerando a CCB da associação obtida através das curvas fornecidas pelos fabricantes das bombas (valor – 1,5);
4. verificar o fenômeno de cavitação para o ponto de trabalho obtido no item anterior (valor – 1,5).

Para refletir e aplicar em todos os nossos exercícios propostos: une petite histoire de physique qui plaira certainement a plus d'un ...

Voici le problème posé par un professeur de Physique du début du siècle:

'J'ai reçu un coup de fil d'un collègue à propos d'un étudiant. Il estimait qu'il devait lui donner un zéro à une question de physique, alors que l'étudiant réclamait un 20. Le professeur et l'étudiant se mirent d'accord pour choisir un arbitre impartial et je fus choisi. Je lus la question de l'examen: "Montrez comment il est possible de déterminer la hauteur d'un building à l'aide d'un baromètre."

L'étudiant avait répondu: "On prend le baromètre en haut du building, on lui attache une corde, on le fait glisser jusqu'au sol, ensuite on le remonte et on calcule la longueur de la corde. La longueur de la corde donne la hauteur du building. "

L'étudiant avait raison vu qu'il avait répondu juste et complètement à la question. D'un autre côté, je ne pouvais pas lui mettre ses points: dans ce cas, il aurait reçu son grade de physique alors qu'il ne

m'avait pas montré de connaissances en physique. J'ai proposé de donner une autre chance à l'étudiant en lui donnant six minutes pour répondre à la question avec l'avertissement que pour la réponse il devait utiliser ses connaissances en physique.

Après cinq minutes, il n'avait encore rien écrit. Je lui ai demandé s'il voulait abandonner mais il répondit qu'il avait beaucoup de réponses pour ce problème et qu'il cherchait la meilleure d'entre elles. Je me suis excusé de l'avoir interrompu et lui ai demandé de continuer. Dans la minute qui suivit, il se hâta pour me répondre: " On place le baromètre à la hauteur du toit. On le laisse tomber en calculant son temps de chute avec un chronomètre. Ensuite en utilisant la formule:  $y=gt^2/2$ , on trouve la hauteur du building."

A ce moment, j'ai demandé à mon collègue s'il voulait abandonner. Il me répondit par l'affirmative et donna presque 20 à l'étudiant.

En quittant son bureau, j'ai rappelé l'étudiant car il avait dit qu'il avait plusieurs solutions à ce problème. "Hé bien, dit-il, il y a plusieurs façon de calculer la hauteur d'un building avec un baromètre. Par exemple, on le place dehors lorsqu'il y a du soleil. On calcule la hauteur du baromètre, la longueur de son ombre et la longueur de l'ombre du building. Ensuite, avec un simple calcul de proportion, on trouve la hauteur du building. "

Bien, lui répondis-je, et les autres? "Il y a une méthode assez basique que vous allez apprécier. On monte les étages avec un baromètre et en même temps on marque la longueur du baromètre sur le mur. En comptant le nombre de traits, on a la hauteur du building en longueur de baromètre. C'est une méthode très directe. Bien sûr, si vous voulez une méthode plus sophistiquée, vous pouvez prendre le baromètre à une corde, le faire balancer comme un pendule et

déterminer la valeur de  $g$  au niveau de la rue et au niveau du toit. A partir de la différence de  $g$ , la hauteur de building peut être calculée.

De la même façon, on l'attache à une grande corde et en étant sur le toit, on le laisse descendre jusqu'à peu près le niveau de la rue. On le fait balancer comme un pendule et on calcule la hauteur du building à partir de la période de précession."

Finalement, il conclut: "Il y a encore d'autres façons de résoudre ce problème. Probablement la meilleure est d'aller au sous-sol, frapper à la porte du concierge et lui dire: "j'ai pour vous un superbe baromètre si vous me dites quelle est la hauteur du building."

J'ai ensuite demandé à l'étudiant s'il connaissait la réponse que j'attendais. Il a admis que oui mais qu'il en avait marre du collègue et des professeurs qui essayaient de lui apprendre comment il devait penser.'

L'étudiant était Niels Bohr et l'arbitre Rutherford.

Rutherford - Prix Nobel de Chimie vers 1910 et Bohr - Prix Nobel de Physique en 1922.

#### 10.4. Experiência da associação em série de duas bombas hidráulicas iguais.

Objetiva-se com esta experiência a obtenção da curva característica da associação em série prática, sendo que esta deve ser comparada com a que seria obtida através das informações do fabricante das bombas hidráulicas B7 e B8.

Uma das possibilidades de funcionamento da associação em série da B7 com a B8 está representada pelas figuras 47 e 48.



Figura 47



Figura 48

A seguir é fornecida a isométrica da possibilidade anterior da associação em série das bombas das bancadas 7 e 8 do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI (figura 49), onde adotando-se o plano horizontal de referência no nível de captação se tem  $Z_e = \text{___ cm}$  e  $Z_{sf} = \text{___ cm}$ , onde  $Z_e =$  cota da seção de entrada das bombas e  $Z_{sf} =$  cota crítica para o instante inicial e  $Z_{sf} =$  cota da seção final da instalação quando a mesma já opera em regime permanente e neste caso a mesma encontra-se dentro do reservatório de distribuição da bancada 7 e onde se tem a carga cinética.

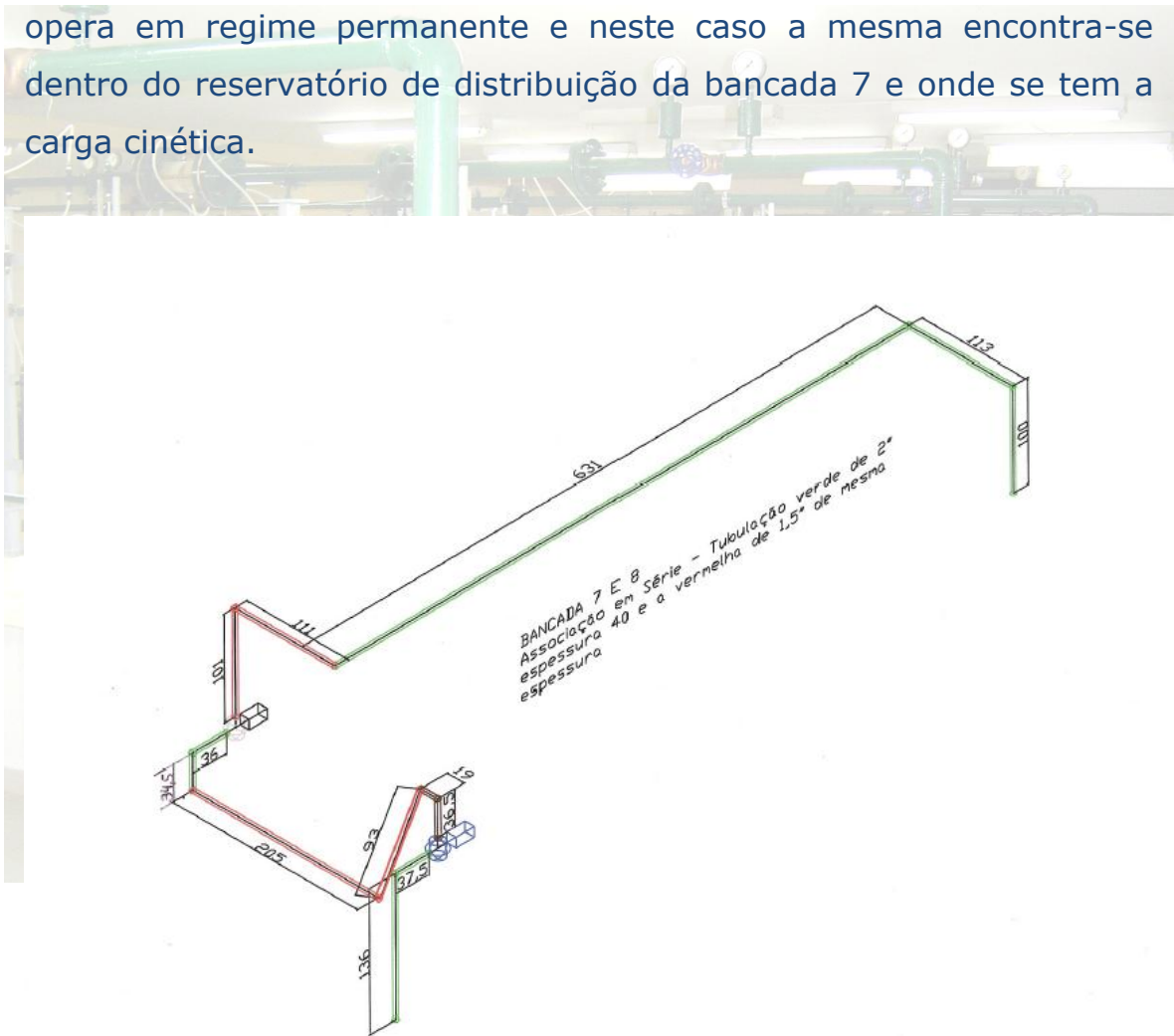


Figura 49

A instalação representada pela isométrica apresenta os seguintes comprimentos equivalentes e comprimentos:

	$\Sigma l_{eq}$ (m)	L(m)
Tubulação de sucção de 2"		
Tubulação de recalque trecho de 1"		
Tubulação de recalque trecho de 1,5"		
Tubulação de recalque trecho de 2"		



Leoni – o meu cane corso

Considera-se a associação em série da B7 com a B8 representada pela figura 50, onde: entrada da B7 = seção 1; saída da B7 = seção 2; entrada da B8 = seção 3 e saída da B8 = seção 4



Figura 50

## Informações adicionais das bancadas

bancada 7			
	$\Delta Z$	$D_{Ne}$	$D_{Ns}$
	_____ mm	_____ "	_____ "
bancada 8			
	$\Delta Z$	$D_{Ne}$	$D_{Ns}$
	_____ mm	_____ "	_____ "

Aplicando a equação da energia da seção 1 a seção 4 tem-se:

$$H_1 + H_{B7} + H_{B8} = H_4 + H_{p1-4}$$

$$H_1 + H_{B7} + H_{B8} = H_4 + H_{p1-2} + H_{p2-3} + H_{p3-4}$$

$$H_{p1-2} = H_{p3-4} \rightarrow \text{já considerada no rendimento da bomba}$$

$$\therefore H_1 + H_{B7} + H_{B8} = H_4 + H_{p2-3} \rightarrow \text{equação I}$$

Aplicando a equação da energia da seção 2 a seção 3 tem-se:

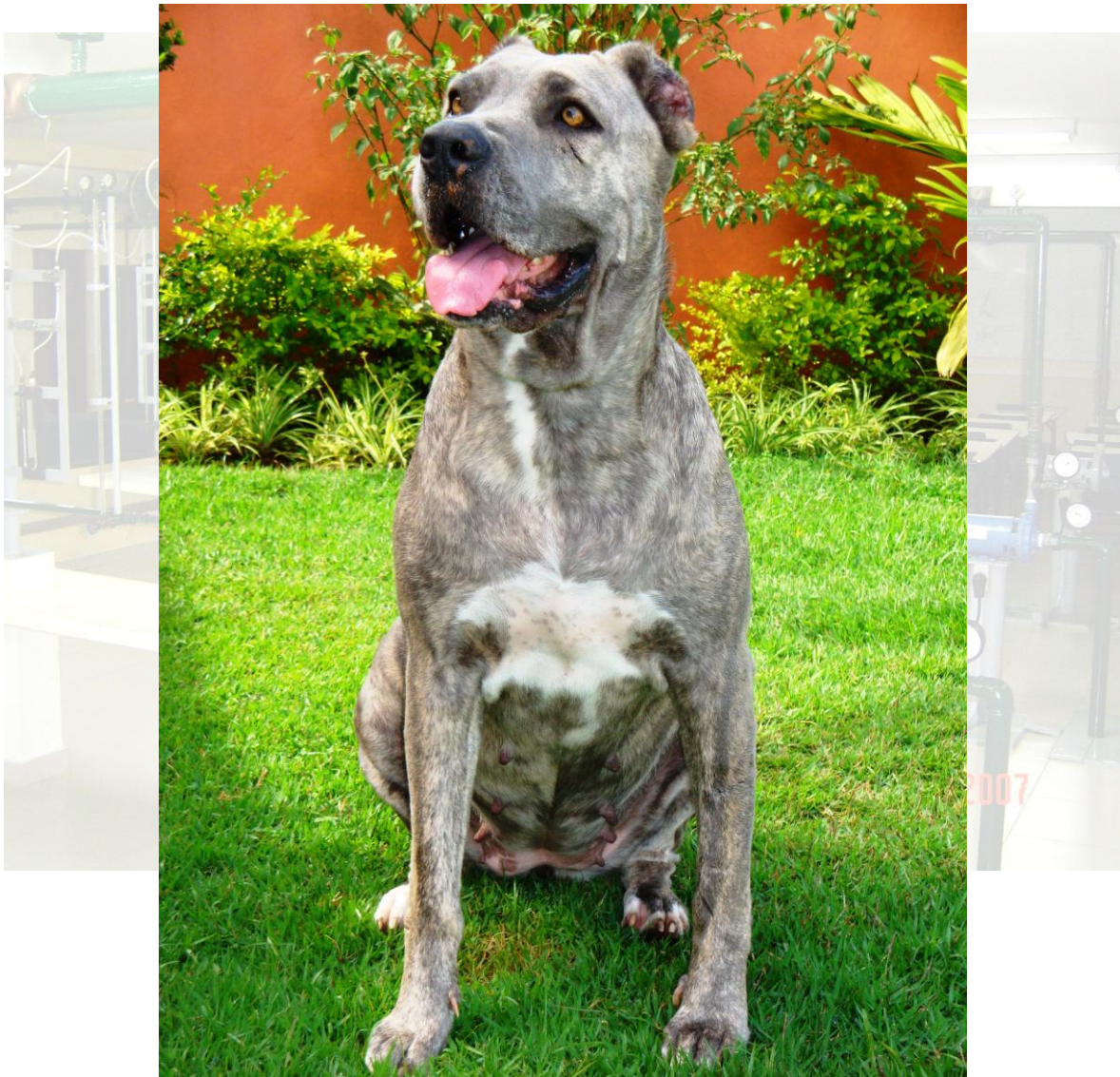
$$H_2 = H_3 + H_{p2-3} \therefore H_{p2-3} = H_2 - H_3 \rightarrow \text{equação II}$$

Da equação II na equação I, tem-se:

$$H_1 + H_{B7} + H_{B8} = H_4 + H_2 - H_3$$

$$\therefore H_{B7} + H_{B8} = H_{Bas} = (H_4 - H_3) + (H_2 - H_1)$$

Importante observar que ao se considerar que  $H_{B7} + H_{B8} = H_{B_{as}}$  está se supondo que elas estejam com a mesma rotação, além disto, sabe-se que  $(H_4 - H_3)$  é a maneira pratica de se achar a carga manométrica da bomba 8 ( $H_{B8}$ ) e  $(H_2 - H_1)$  é a maneira pratica de se achar a carga manométrica da bomba 7 ( $H_{B7}$ ).



Athena – a dançarina de casa

Ao realizar a experiência deve-se preencher a tabela de dados a seguir:

Associação em série dados obtidos em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_

	Bomba bancada 7			Bomba bancada 8				Det. da vazão
Ensaio	$p_1$ (bar)abs	$p_2$ (kPa)	$n$ (rpm)	$p_3$ (bar)abs	$p_4$ (kPa)	$n$ (rpm)	Pressão barométrica (bar)	L/min
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Importante: o relatório deve ser um relatório técnico, para a sua elaboração consulte a norma que está disponível na página da biblioteca do Centro Universitário da FEI



Ana Julia, eu e o Marcos Vinícius, são eles que me motivam a pensar em uma formação sustentável.