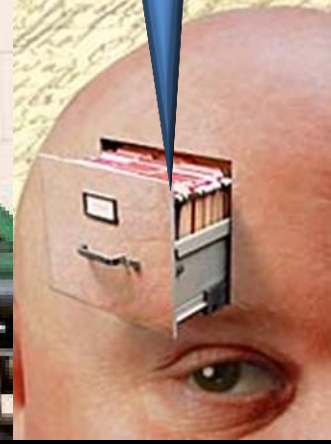
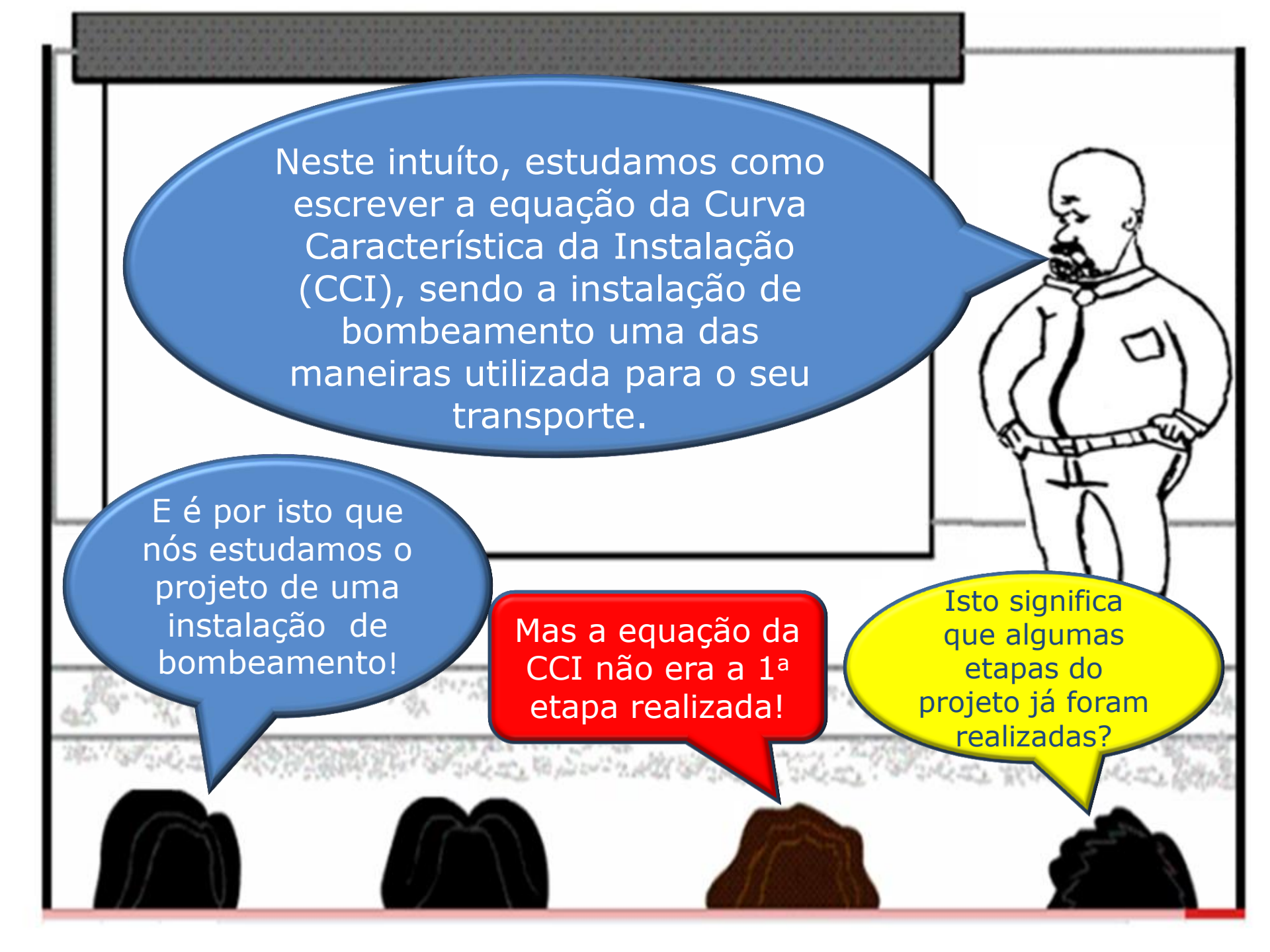


“Das três classes de indústrias químicas: processamento de sólidos, tipo sólido-fluido e processo fluido, há hoje em dia um predomínio absoluto das que processam fluidos. Mesmo nas indústrias envolvendo sólidos, dá-se preferência a processá-los sob forma fluidizada...”

Reynaldo Gomide

Portanto é importante estudarmos seus escoamento e ...



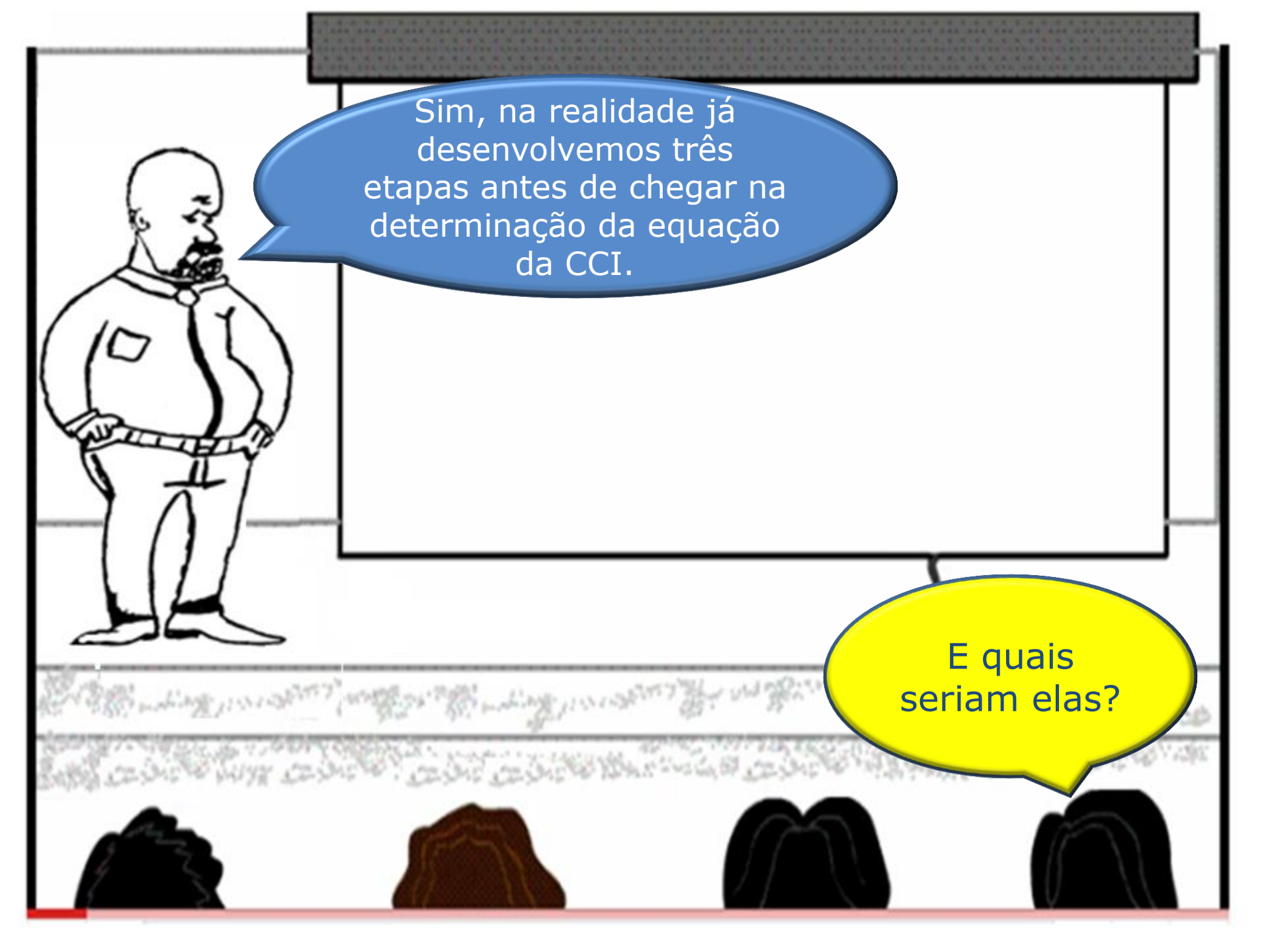


Neste intuito, estudamos como escrever a equação da Curva Característica da Instalação (CCI), sendo a instalação de bombeamento uma das maneiras utilizada para o seu transporte.

E é por isto que nós estudamos o projeto de uma instalação de bombeamento!

Mas a equação da CCI não era a 1ª etapa realizada!

Isto significa que algumas etapas do projeto já foram realizadas?



Sim, na realidade já desenvolvemos três etapas antes de chegar na determinação da equação da CCI.

E quais seriam elas?

1ª Etapa do projeto:
dados
iniciais



Conhecemos o fluido
e a sua temperatura
de escoamento.

Com estas informações
calculamos a massa específica,
a viscosidade e a viscosidade
cinemática do fluido!

Para água com $0 \leq t \leq 100^\circ\text{C}$

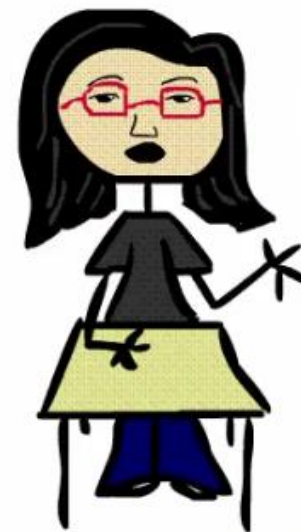
$$\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \approx 1000 - 0,0178 \cdot |t^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}|^{1,7} \pm 0,2\%$$

$$\ln \frac{\mu}{\mu_0} = -1,704 - 5,306z + 7,003 \cdot z^2$$

Com

$$z = \frac{273 \text{ K}}{T \text{ K}}$$

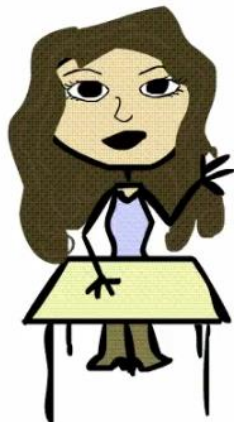
$$\mu_0 = 1,788 \cdot e^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$



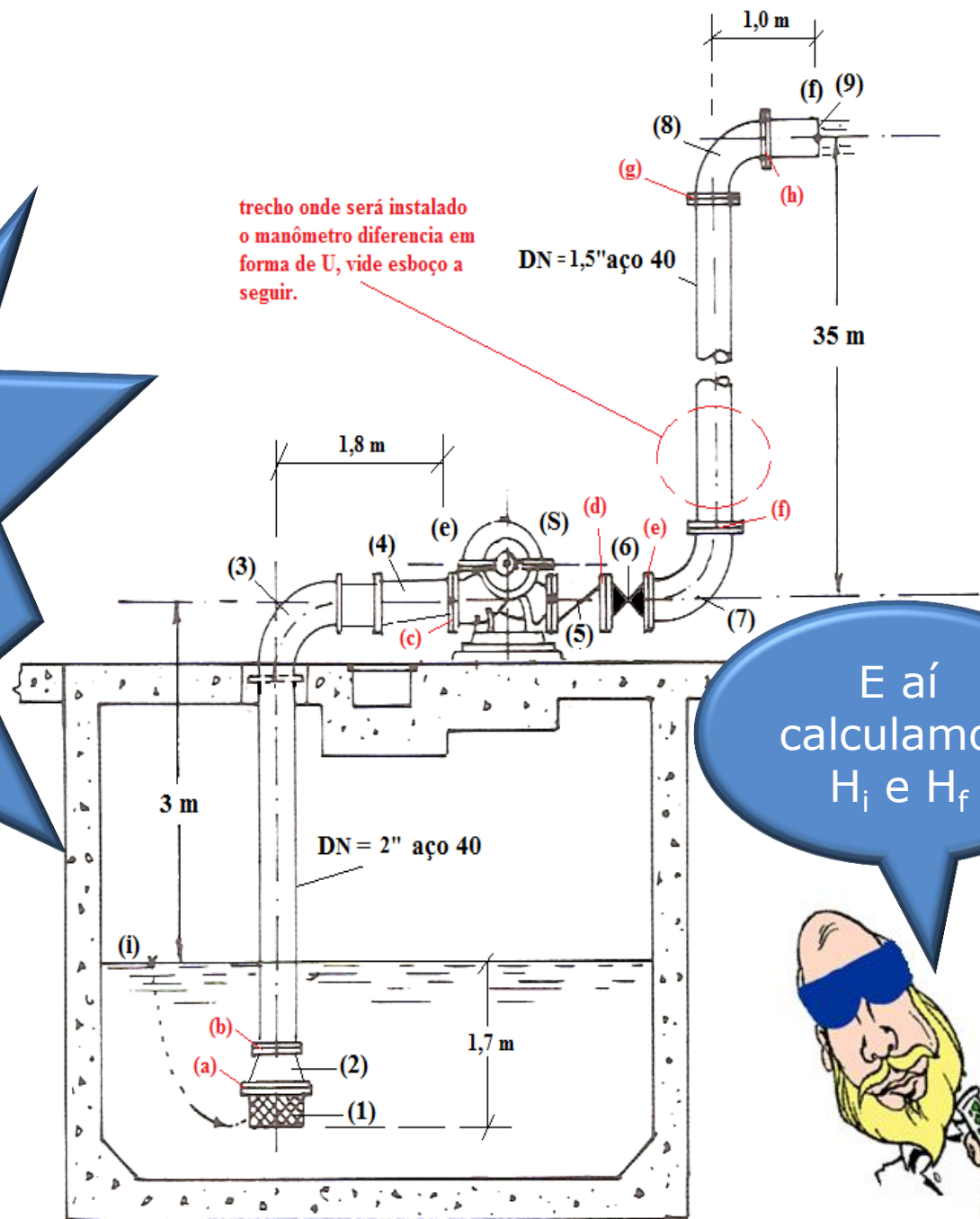
As equações anteriores para determinação da massa específica e da viscosidade foram extraídas do livro “Mecânica dos fluidos” escrito por Frank M. White – 4ª ed. – MCGRAWHILL

Já a viscosidade cinemática, seria:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$



Ainda na primeira etapa, conhecemos as condições de captação e distribuição!



E aí calculamos H_i e H_f

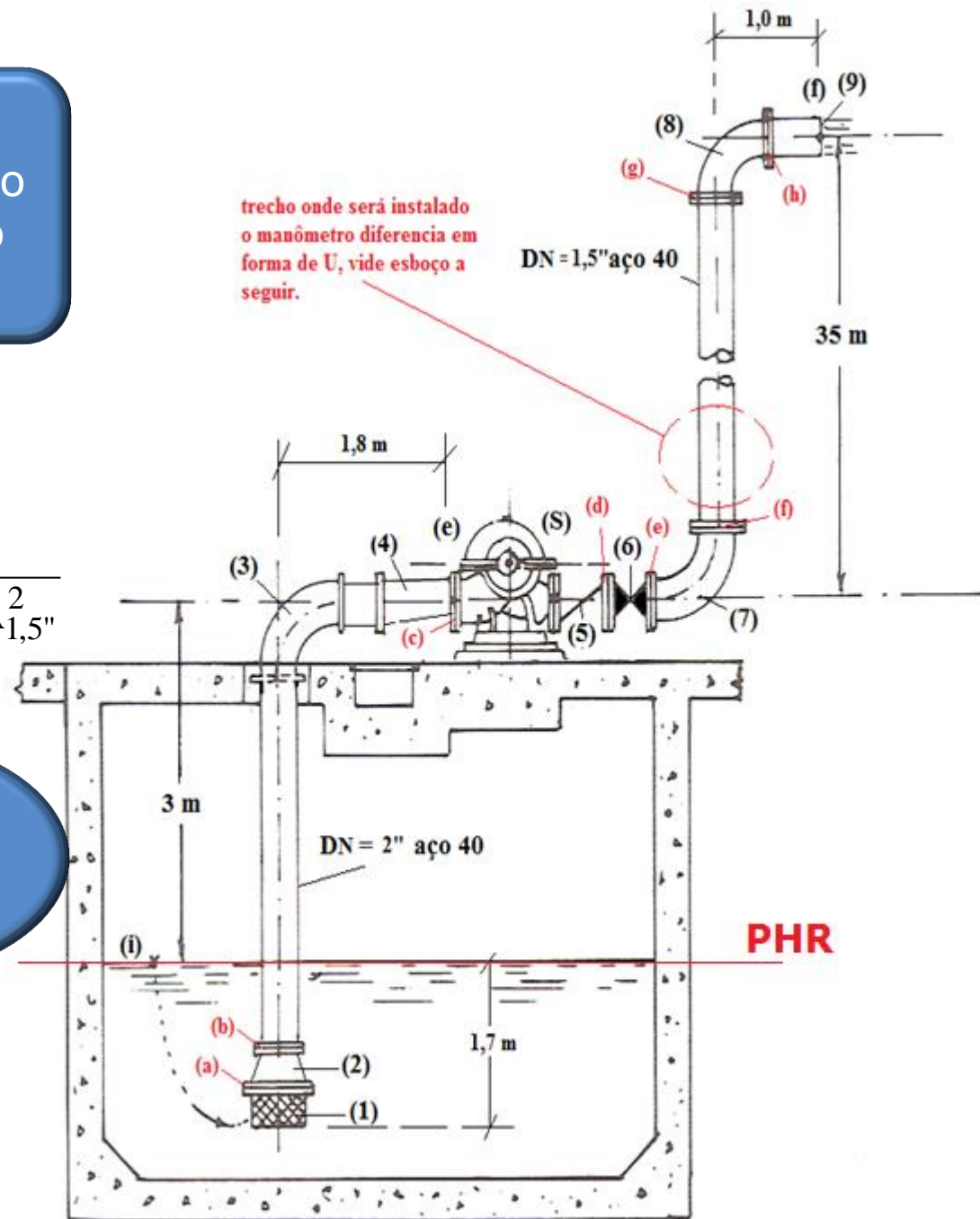


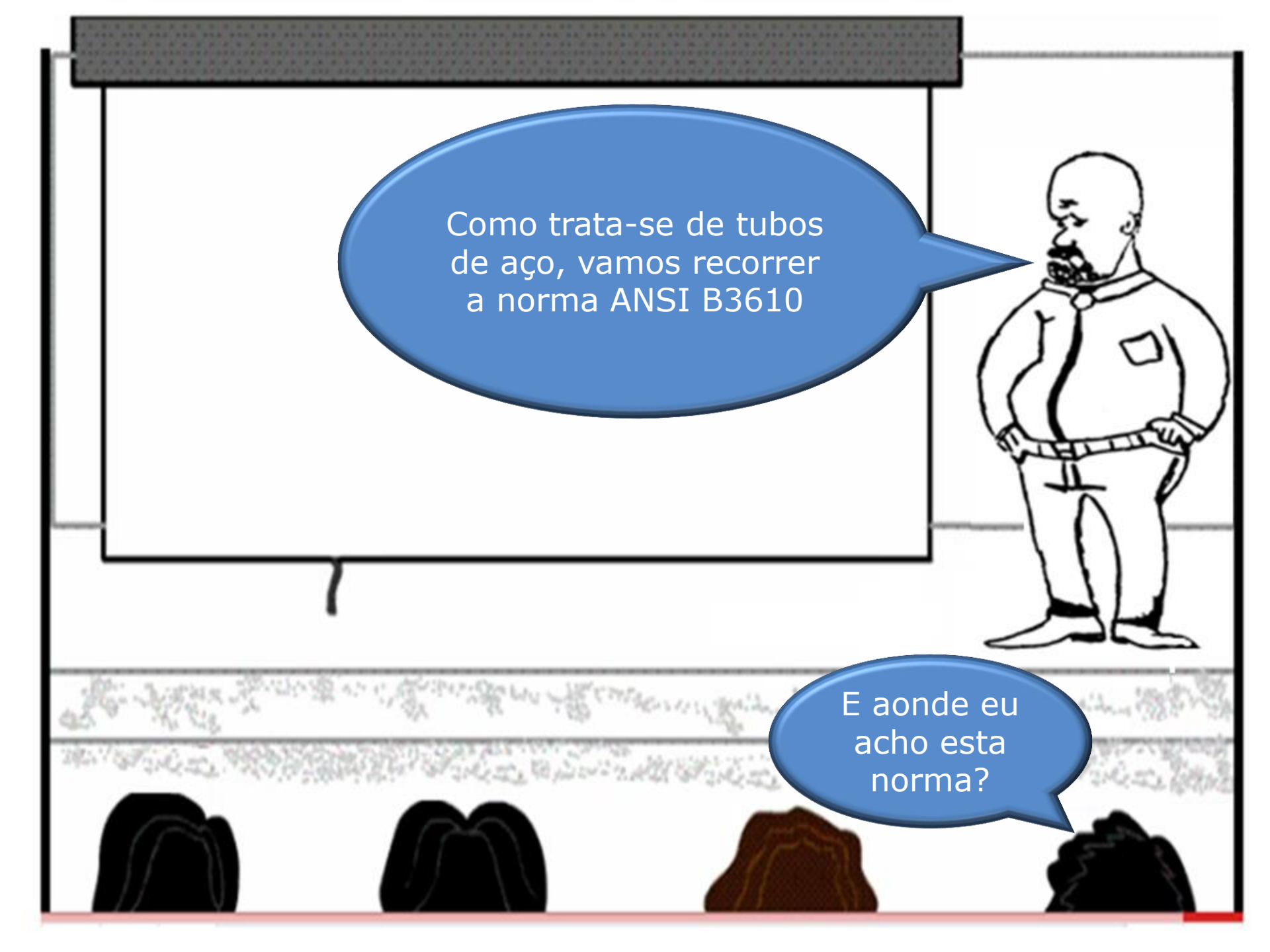
Adotando o PHR no nível de captação

$$H_i = z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = 0$$

$$H_f = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} = 38 + \frac{Q^2}{19,6 \times A_{1,5}^2}$$

Como eu acho a área da seção final?





Como trata-se de tubos de aço, vamos recorrer a norma ANSI B3610

E aonde eu acho esta norma?



Siga o
caminho:

1. Entre na página:
<http://www.escoladavida.eng.br/>
e clique em “Na engenharia”
2. Na página: http://www.escoladavida.eng.br/na_engenharia.htm
clique em: “mecânica dos fluidos”
3. Estando na página
http://www.escoladavida.eng.br/mecanica_dos_fluidos.htm
clique em: “para engenharia química”
4. Estando na página
http://www.escoladavida.eng.br/mecanica_dos_fluidos_para_eng_quimica.htm clique em: “planejamento atual”



Tem mais?





Sim!

5. Estando na página:

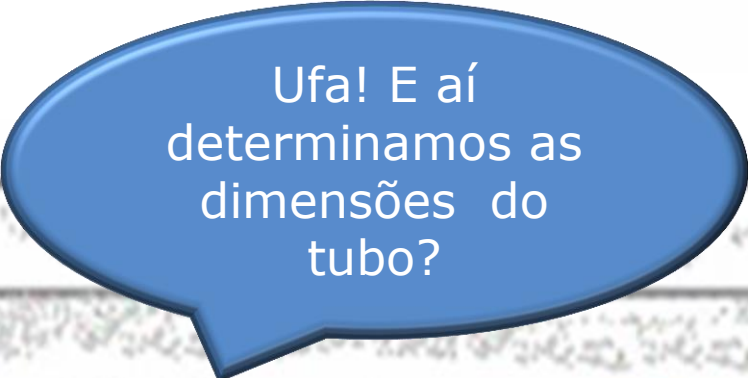
http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12013/abertura_12013.htm clique em:

"Consultas"

6. Estando na página:

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12013/consulta7.htm clique em: **"Tubos**

industriais de aço - norma ANSI "



Ufa! E aí determinamos as dimensões do tubo?

Diâmetro nominal (pol)	Designação de espessura.	Espessura de parede (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área da seção livre (cm ²)	Área da seção de metal (cm ²)	Superfície externa (m ² /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm ⁴)	Momento resistente (cm ³)	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
Diâmetro externo (mm)	(v. Nota 2)	(v. Nota 3)									
¼	10S	1,65	10,4	0,85	0,62	0,043	0,49	0,085	0,116	0,169	0,430
—	Std, 40, 40S	2,23	9,2	0,67	0,81		0,62	0,067	0,138	0,202	0,413
—	XS, 80, 80S	3,02	7,7	0,46	1,01		0,79	0,046	0,157	0,229	0,393
13,7											
1½	Std, 40, 40S	3,68	40,8	13,1	5,15	0,151	4,04	1,31	12,90	5,34	1,58
—	XS, 80, 80S	5,08	38,1	11,4	6,89		5,40	1,14	16,27	6,75	1,54
—	160	7,14	33,9	9,07	9,22		7,23	0,91	20,10	8,33	1,48
48	XXS	10,16	27,9	6,13	12,2		9,53	0,61	23,64	9,80	1,39
2	Std, 40, 40S	3,91	52,5	21,7	6,93	0,196	5,44	2,17	27,72	9,20	2,00
—	XS, 80, 80S	5,54	49,2	19,0	9,53		7,47	1,90	36,13	11,98	1,95
—	160	8,71	42,9	14,4	14,1		11,08	1,44	48,41	16,05	1,85
60	XXS	11,07	38,2	11,4	17,1		13,44	1,14	54,61	18,10	1,79

$$H_f = 38 + \frac{Q^2}{19,6 \times (13,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_f = 38 + 29730,5 \times Q^2$$

A vazão desejada também seria um dado inicial!



2ª Etapa do projeto: dimensionamos os tubos da instalação

Começamos sempre com o tubo depois da bomba (dB).

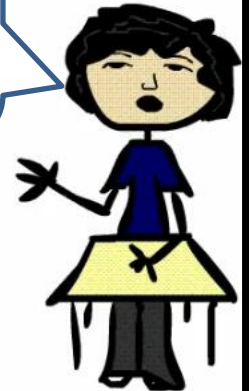


E aí é só lembrar:



O ALEMÃO

$$Q = v \times A$$



Mas eu só vou com a velocidade média!



Em função do fluido se tem a velocidade econômica e o material mais usado na fabricação do tubo.






Um exemplo:

Uma instalação de bombeamento foi projetada para transportar amoníaco com uma vazão de 3,2 L/s, pede-se dimensionar os tubos da mesma.

E como achamos a velocidade econômica?

Siga as instruções do próximo slide!



http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12013/abertura_12013.htm clique em "[Consultas](#)"

E aí clicamos em:

["Material importante para consulta no desenvolvimento de projetos e avaliações oficiais \(P1,P2 ...\)"](#)



Aí chegamos na tabela ao lado!

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

Tendo a velocidade econômica, no caso 1,8 m/s, podemos calcular o diâmetro interno de referência.





Com o diâmetro de referência na norma ANSI B3610, obtemos:

$$D_N = 1,5'' \Rightarrow D_{\text{int}} = 40,8\text{mm}$$

$$D_{\text{dBref}} \Rightarrow 47,6\text{ mm}$$

$$D_N = 2'' \Rightarrow D_{\text{int}} = 52,5\text{mm}$$

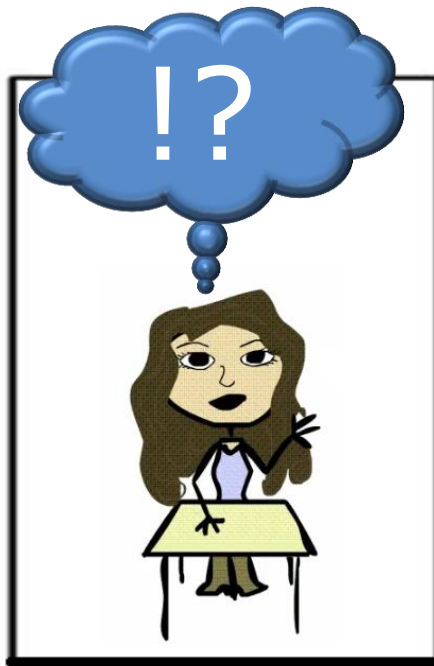
$$Q = v \times A$$

$$3,2 \times 10^{-3} = 1,8 \times \frac{\pi \times D_{\text{dBref}}^2}{4}$$

$$D_{\text{dBref}} = \left[\sqrt{\frac{4 \times 3,2 \times 10^{-3}}{1,8 \times \pi}} \right] \times 1000$$

$$D_{\text{dBref}} \cong 47,6\text{mm}$$

Se a instalação for considerada pequena, custo da BOMBA + Motor + DE OPERAÇÃO mais significativo do que o custo da tubulação, podemos optar pelo maior diâmetro, no caso aço 40 de diâmetro nominal de 2"

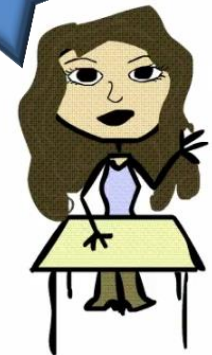


Se a instalação for considerada grande, custo da BOMBA + Motor + custo DE OPERAÇÃO menos significativo do que o custo da tubulação, podemos optar pelo menor diâmetro, no caso aço 40 de diâmetro nominal de 1,5"



Como ainda não podemos efetuar a análise anterior, desenvolvemos o projeto para os dois diâmetros anteriores e deixamos a decisão da escolha para o final do projeto.

E o tempo da prova?





Na prova eu estabeleço uma das condições: instalação grande ou pequena.

Neste exemplo, vamos considerar uma instalação pequena o que nos leva a escolher o diâmetro de 2" aço 40 para o tubo depois da bomba.

E antes da bomba (aB) como fica?



Para o tubo antes da bomba adotamos na tentativa de evitar o fenômeno de cavitação um diâmetro comercial imediatamente superior.



Portanto, diâmetro antes da bomba de 1,5" aço 40



3ª Etapa do projeto:
esboço da instalação

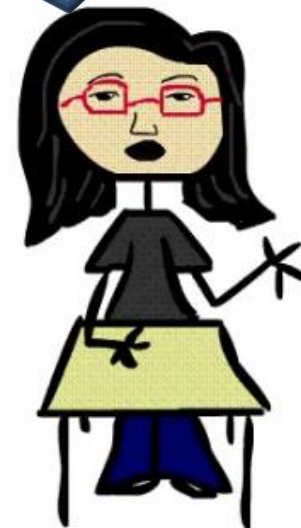


É aqui que estabelecemos os comprimentos dos tubos.

Estabelecemos também os acessórios hidráulicos e isto permite ter os seus comprimentos equivalentes

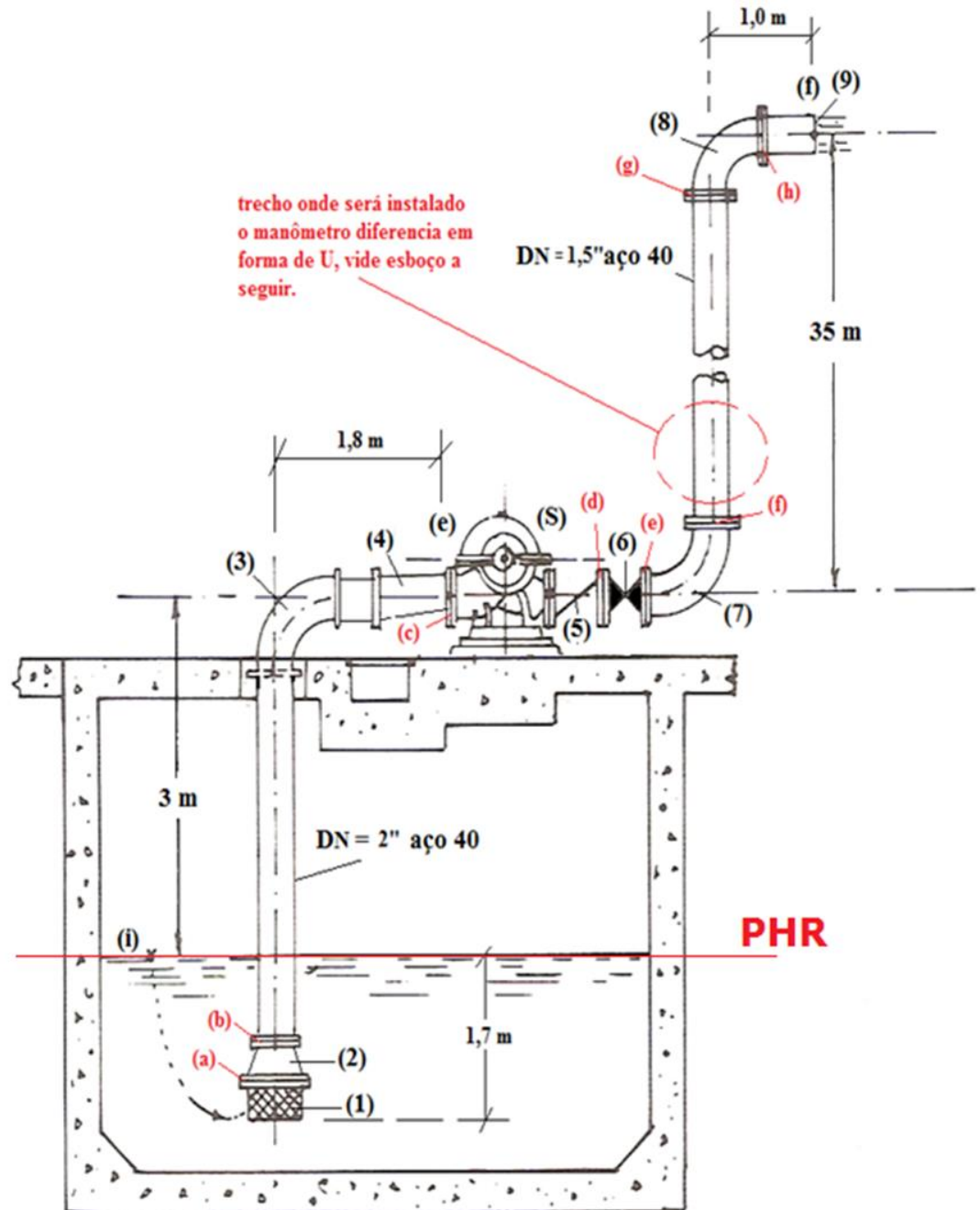


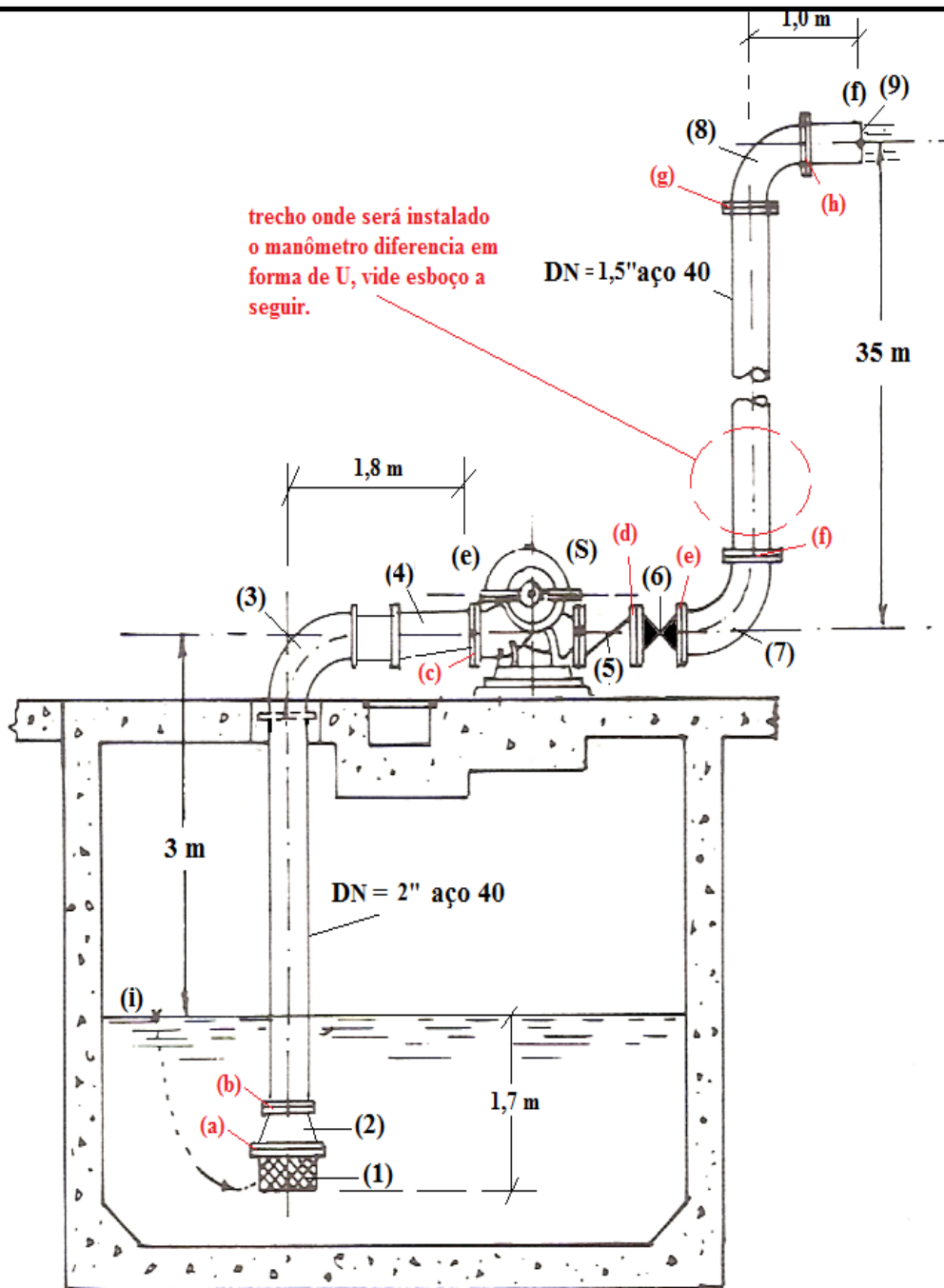
Além disto, podemos estabelecer todas as cotas, inclusive o melhor caminho para o escoamento.



4ª Etapa do projeto:
obtenção da equação
da CCI

A instalação ao lado fez parte da terceira questão da P1 do semestre passado e supondo que o fluido bombeado é a água a 74°F, obtenha a equação da CCI.





1 – válvula de poço da Mipel de 3"

2 – redução concêntrica da Tupy 3"x 2"

3 – curvas fêmeas de 90° de 2"

4 - redução excêntrica de 2" x 1,5'

5 – válvula de retenção horizontal de 1,5"

6 - Válvula globo reta sem guia de 1,5"

7 e 8 – curvas fêmeas de 90° de 1,5"

9 - saída da tubulação de 1,5"

Outros dados:

(a) – niple duplo de 3”;

(b) – niple duplo de 2”;

(c), (d), (e), (f), (g) e (h) – niples duplos de 1,5”



A equação da CCI representa a carga que deve ser fornecida ao fluido transportado, para que ele escoe com uma vazão Q . No caso de uma instalação com uma entrada e uma saída, a CCI é obtida aplicando-se a equação da energia entre a seção inicial e final.



Importante: a equação da CCI sempre será escrita em função da vazão, portanto onde existir a velocidade média, esta deve ser substituída pela vazão que será a nossa variável independente. Em alguns casos a CCI também ficará em função dos "f".

Vamos resolver o exercício!



$$H_{\text{inicial}} + H_{\text{sistema}} = H_{\text{final}} + H_{\text{ptotais}}$$

$$0 + H_S = 38 + 29730,5 \times Q^2 + H_{p3''} + H_{p2''} + H_{p1,5''}$$

$$H_{p3''} = f_{3''} \times \frac{(0 + 32,01)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p3''} = f_{3''} \times 921415,3 \times Q^2$$



$$H_{p2''} = f_{2''} \times \frac{(6,5 + 1,75)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p2''} = f_{2''} \times 1702625,4 \times Q^2$$

$$H_{p1,5''} = f_{1,5''} \times \frac{(36 + 36)}{0,0408} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (13,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p1,5''} = f_{1,5''} \times 52465482,5 \times Q^2$$

Aí devemos
variar a Q e para
cada valor
calcular os "f"



É desta forma
que traçamos a
CCI!

