

### Resolução do exercício proposto

Parte-se da determinação da equação da Curva Característica da Instalação (CCI), para isto aplica-se a equação da energia da seção inicial a seção final da instalação considerada. Para este primeiro exercício proposto tem-se duas situações:

#### **1ª – Instalação sem bomba, ou seja, operando em queda livre**

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

Como a instalação tem um único diâmetro: Sch 40 com diâmetro nominal de 2 ½”, ou seja:  $D_{\text{int}} = 62,7 \text{ mm} \rightarrow A_{\text{seção livre}} = 30,9 \text{ cm}^2$  e adotando-se o PHR (Plano Horizontal de Referência) passando pelas seções (2) e (3) da instalação, trabalhando na escala efetiva e considerando que a instalação opera com escoamento turbulento e em regime permanente, pode-se escrever que:

$$H_{\text{inicial}} = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = 12 + 0 + 0 = 12 \text{ m}$$

$$H_{\text{final}} = Z_f + \frac{P_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} = 3 + 0 + \frac{Q^2}{2g \times A^2} = 3 + \frac{Q^2}{2 \times 9,81 \times 30,9^2 \times 10^{-8}} = 3 + 5338,07Q^2$$

$$L = 3 + 10 + 13 + 20 + 5 + 30 + 3 + 12 = 96 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \sum L_{\text{eq}} &= \text{saída normal} + 2 \times \text{válvula gaveta} + 5 \times \text{cotovêlo de raio médio} + \\ & 2 \times \text{tê passagem direta} + \text{válvula globo} + \text{saída de canalização} \\ &= 1,9 + 2 \times 0,4 + 5 \times 1,7 + 2 \times 1,3 + 21 + 1,9 = 36,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Nesta primeira solução, estamos trabalhando de acordo com a orientação do “avô do Alemão”, ou seja, consideramos  $f = 0,02$ , portanto:

$$H_{P_{\text{total}}} = 0,02 \times \frac{(96 + 36,7)}{62,7 \times 10^{-3}} \times \frac{Q^2}{2 \times 9,81 \times 30,9^2 \times 10^{-8}} = 225952,64Q^2$$

$$12 + H_{\text{sistema precisa}} = 3 + 5338,07Q^2 + 225952,64Q^2$$

$H_S = -9 + 231290,71Q^2 \Rightarrow$  esta é a equação da CCI para a instalação sem bomba, onde é importante notar que é perfeitamente possível o seu funcionamento, isto pelo fato da  $H_{\text{estática}}$  ser negativa  $\Rightarrow H_{\text{estática}} = -9 \text{ m}$

### Resolução pelo método numérico

Como deseja-se determinar a vazão sem bomba, tem-se:

$$0 = -9 + 231290,71Q^2 \therefore Q_{\text{queda livre}} = \sqrt{\frac{9}{231290,71}} = 6,24 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 6,24 \frac{\text{litro}}{\text{s}} = 22,46 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

### Resolução pelo método gráfico

Para esta solução pode-se recorrer a uma planilha Excel e para as vazões dadas<sup>1</sup>, em  $\text{m}^3/\text{s}$ , pode-se calcular o  $H_{\text{sistema precisa}}$  e onde a CCI cruzar o eixo das vazões, tem-se a vazão em queda livre, já que neste ponto  $H_S = H_B = 0$ . Outra possibilidade seria calcular a vazão pela equação da linha de tendência, onde novamente se coloca  $H_{\text{sistema precisa}} = 0$ , o que

$$\text{para o exercício resulta: } 0 = 0,0178Q_{\text{qL}}^2 - 7E - 15Q_{\text{qL}} - 9 \therefore Q_{\text{qL}} \cong 22,49 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

<sup>1</sup> Pode-se considerar como referência para cálculo a tabela de vazões dada para a bomba especificada para este exercício.

## Instruções para se trabalhar com a planilha Excel

### I. Cálculo do $H_{\text{sistema}}$ precisa

Microsoft Excel - Gabarito do primeiro exercício proposto

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help Adobe PDF

Type a question for help

100% Arial

E11

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Cálculo da vazão de queda livre pelo método gráfico														
2															
3	Q (m³/h)	Hs													
4	0	-9,0													
5	5	-8,6													
6	15	-5,0													
7	20	-1,9													
8	25	2,2													
9	30	7,1													
10	35	12,9													
11	40	19,6													
12	45	27,1													
13															
14	Já pela tabela anterior vemos que a vazão de queda livre está dentre 20 e 25m³/h														
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															

Cálculo do Hs sem bomba CCI da instalação sem bomba Res da eq. do 2 grau sem bomba

Ready NUM

Iniciar 2 Internet ... Microsoft Fr... Untitled Mec Flu II Resolução d... Microsoft E... 11:10

### II. Em seguida, segue-se a seqüência:

II.1. Marca-se a tabela com o mouse e clica-se no assistente de gráfico (Figura 1);

II.2. Clica-se no tipo de gráfico: “**Dispersão (XY)**” e no subtipo de gráfico: “**Dispersão com pontos de dados conectados por linhas suaves sem marcadores**” (Figura 2)

II.3. Clica-se no botão “Avançar” (Figura 3)

II.4. Preenche-se as lacunas: (Figura 4)

- Título do gráfico: **Determinação da vazão em queda livre**
- Eixo dos valores (X): **Q (m³/h)**
- Eixo dos valores (Y): **Hs (m)**

II.5. Clique novamente em “**Avançar**”, escolha-se “**Como nova planilha**” e clica-se em **concluir** (Figura 5)

II.6. Surge a CCI (Figura 6), onde observa-se que a vazão de queda realmente fica entre 20 e 25 m<sup>3</sup>/h

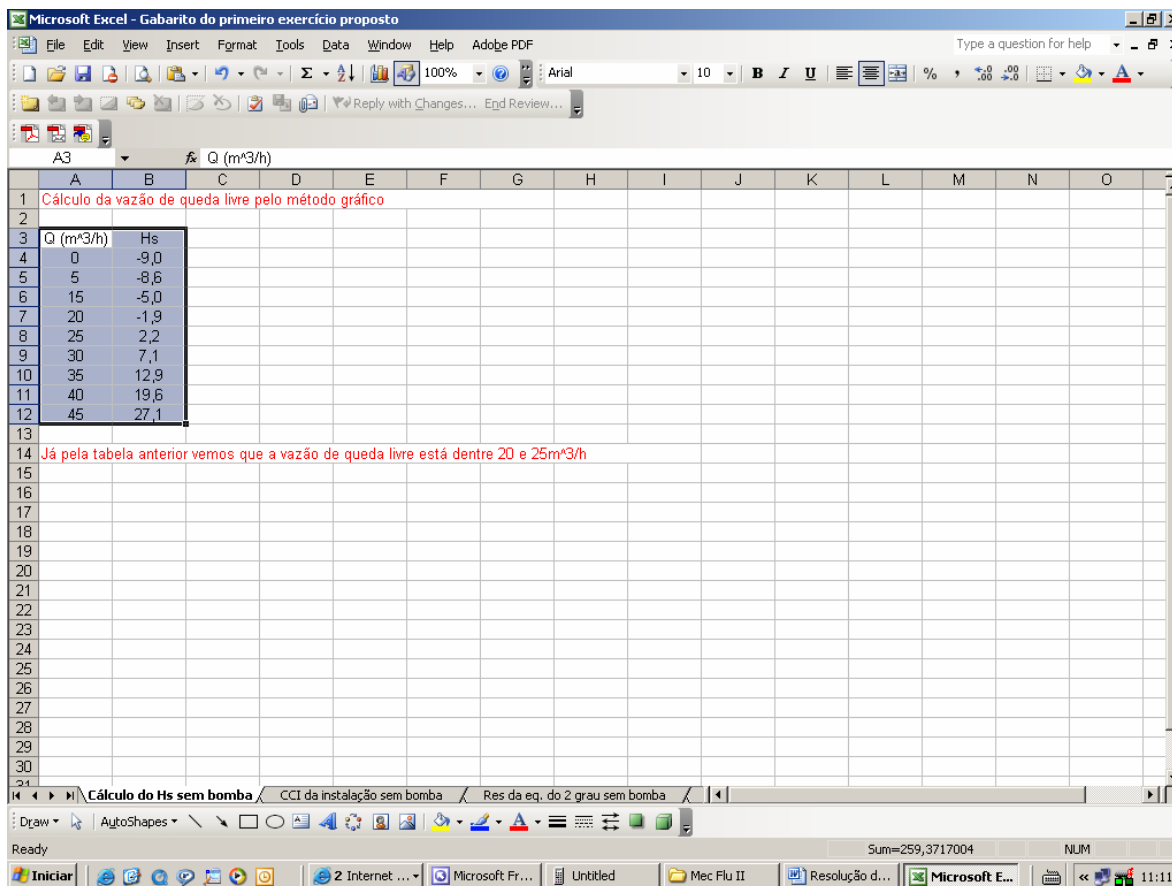


Figura 1

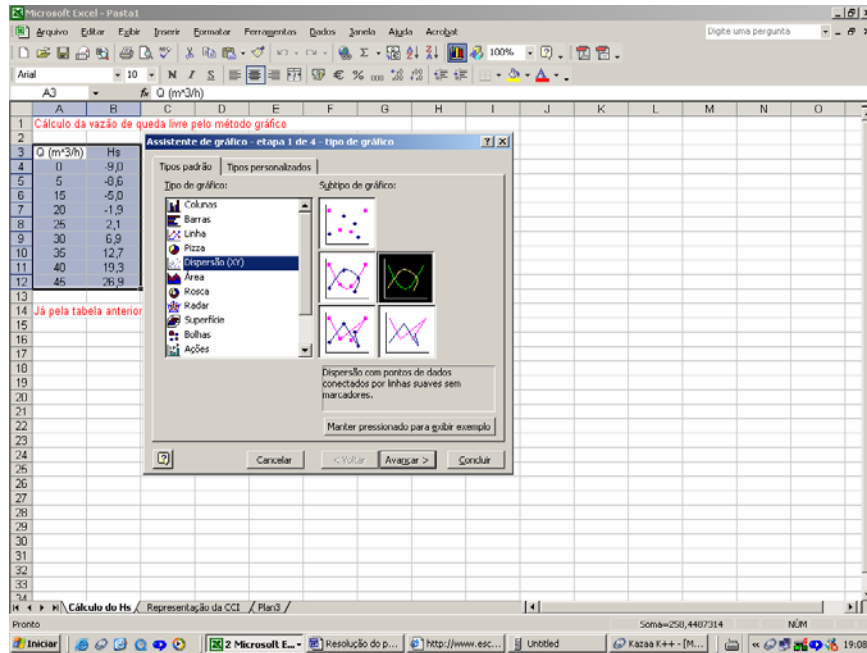


Figura 2

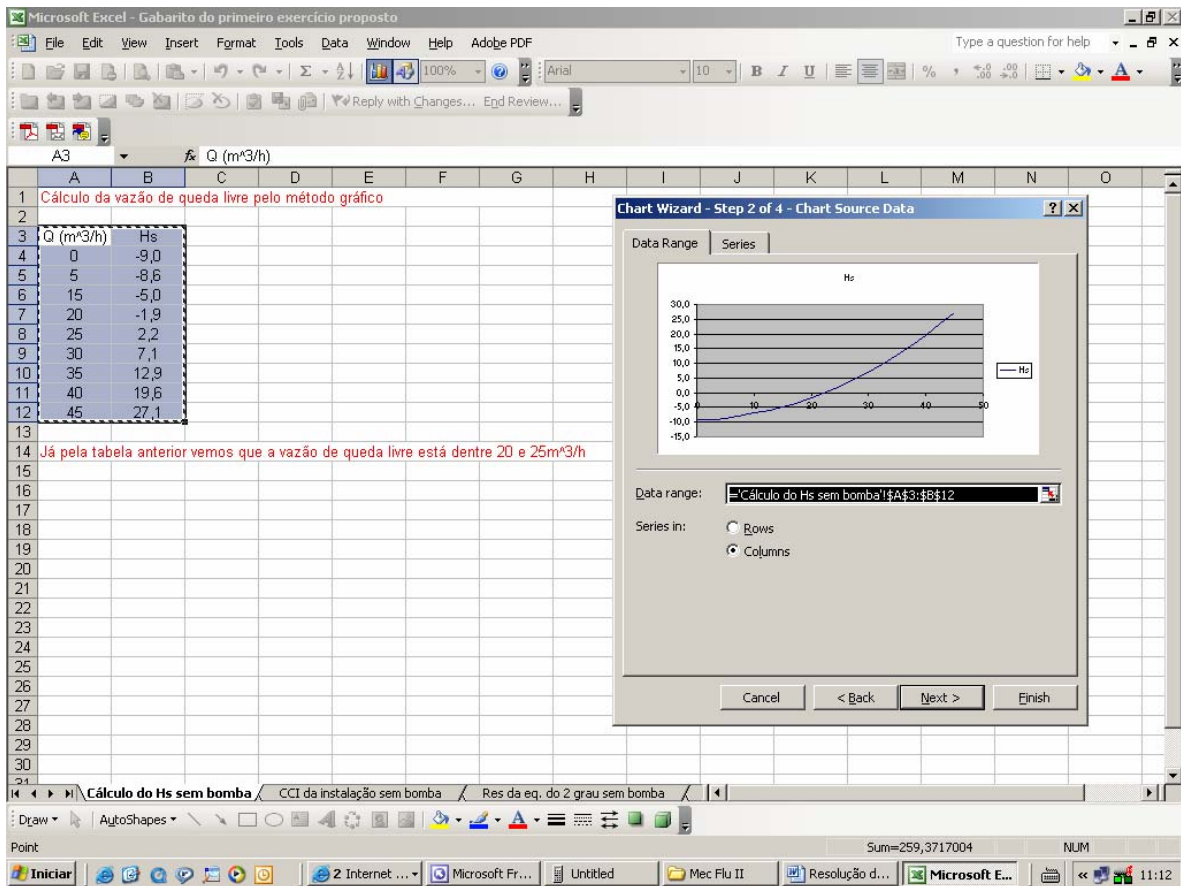


Figura 3

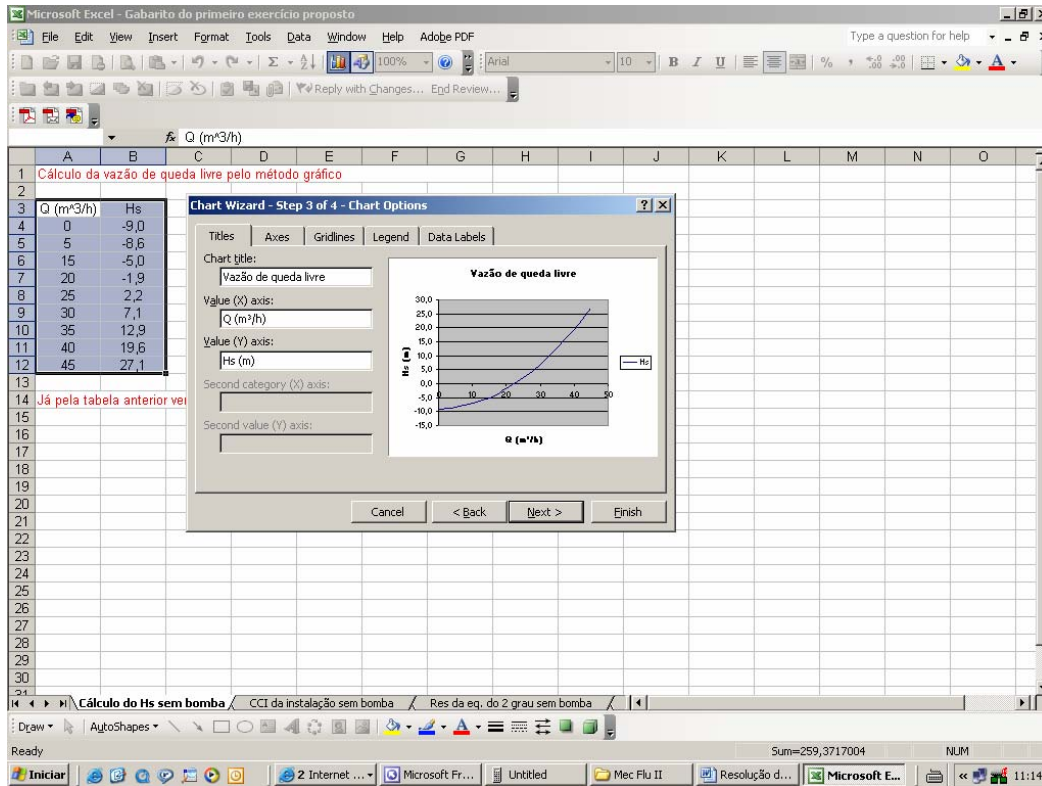


Figura 4

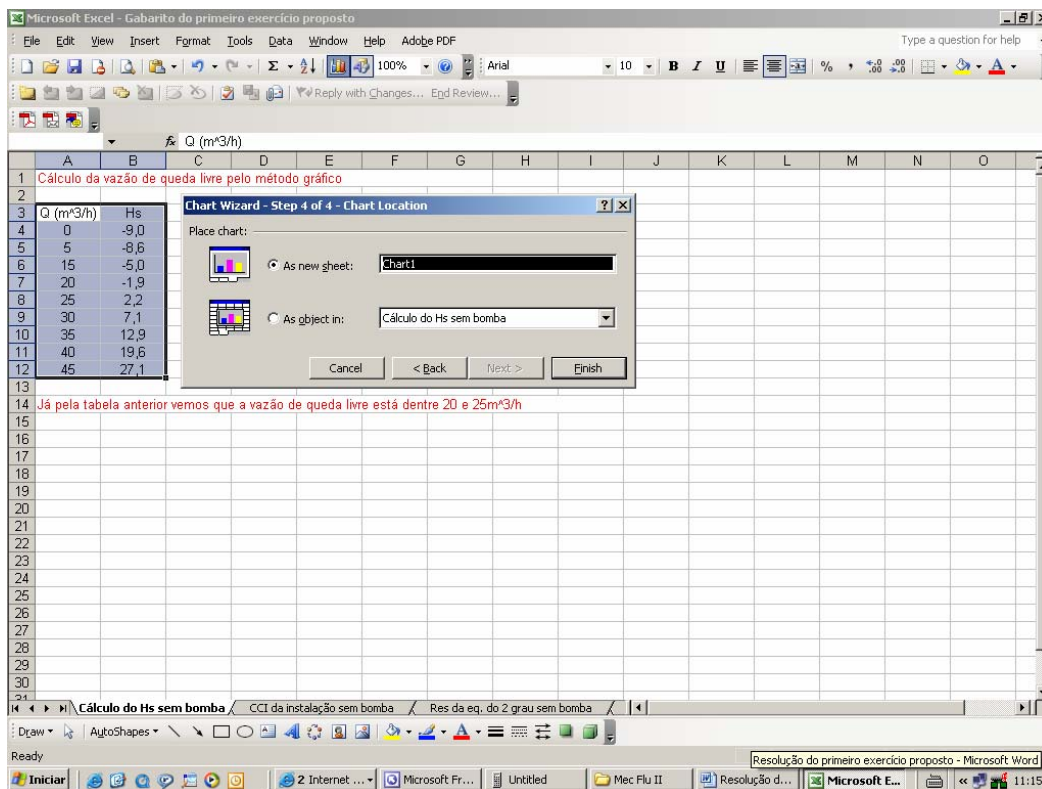


Figura 5

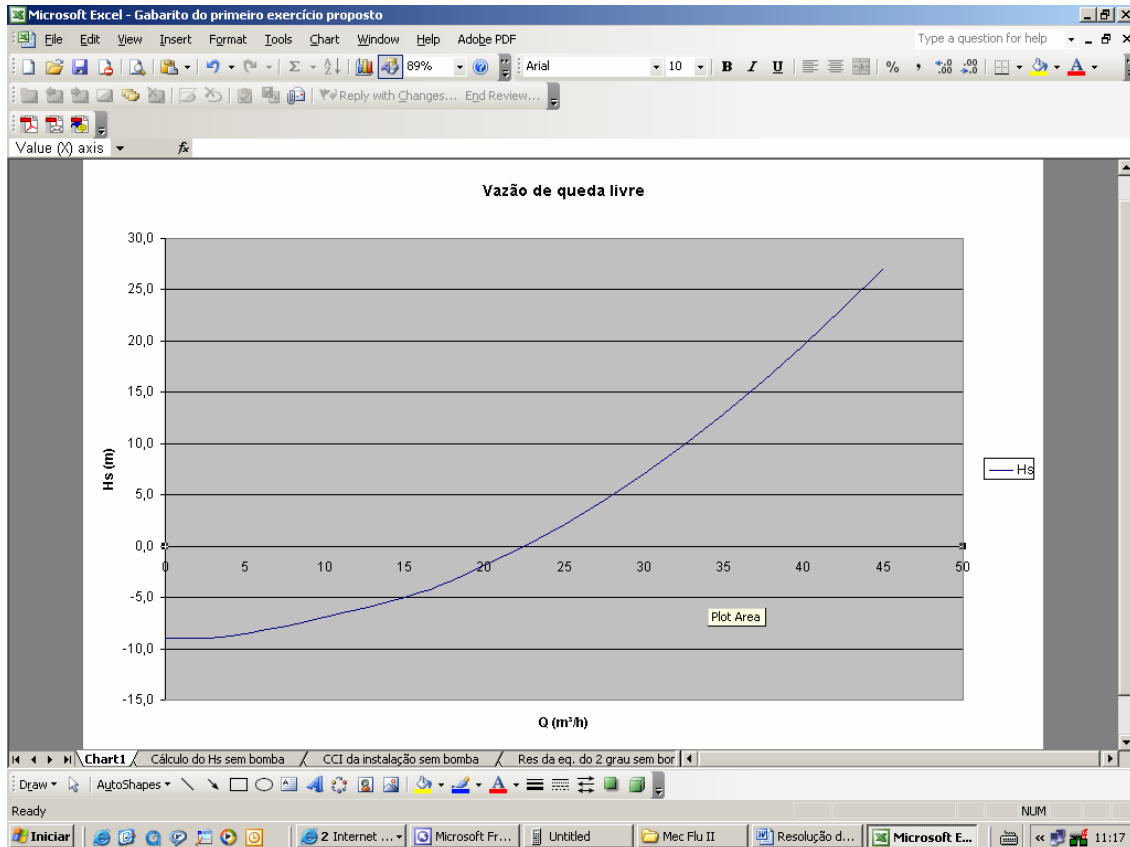


Figura 6

III. Alterando-se a escala do eixo:

III.1. Leva-se a seta do mouse até a linha do X, surge “Eixo dos valores (X)” (Figura 7)

III.2. Clica-se no lado direito do mouse e aí em “Formatar eixo” (Figura 8)

III.3. Na aba “Padrões” clique para “Tipo de marca da escala secundária em Externa” (Figura 9)

III.4. Clique na aba “Escala” e aí altere os valores, por exemplo: **Máxima coloque 26 e na unidade secundária coloque 2** e veja que praticamente podemos garantir que

será na ordem de  $22,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  (Figura 10)

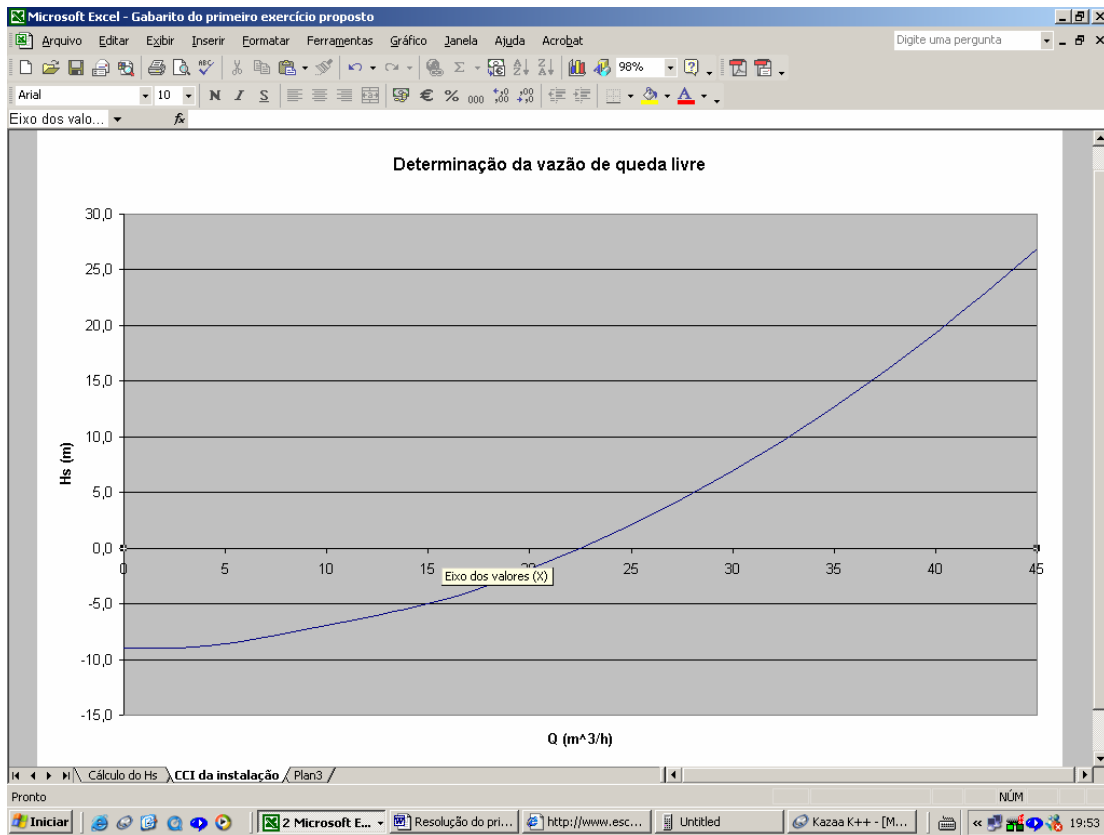


Figura 7

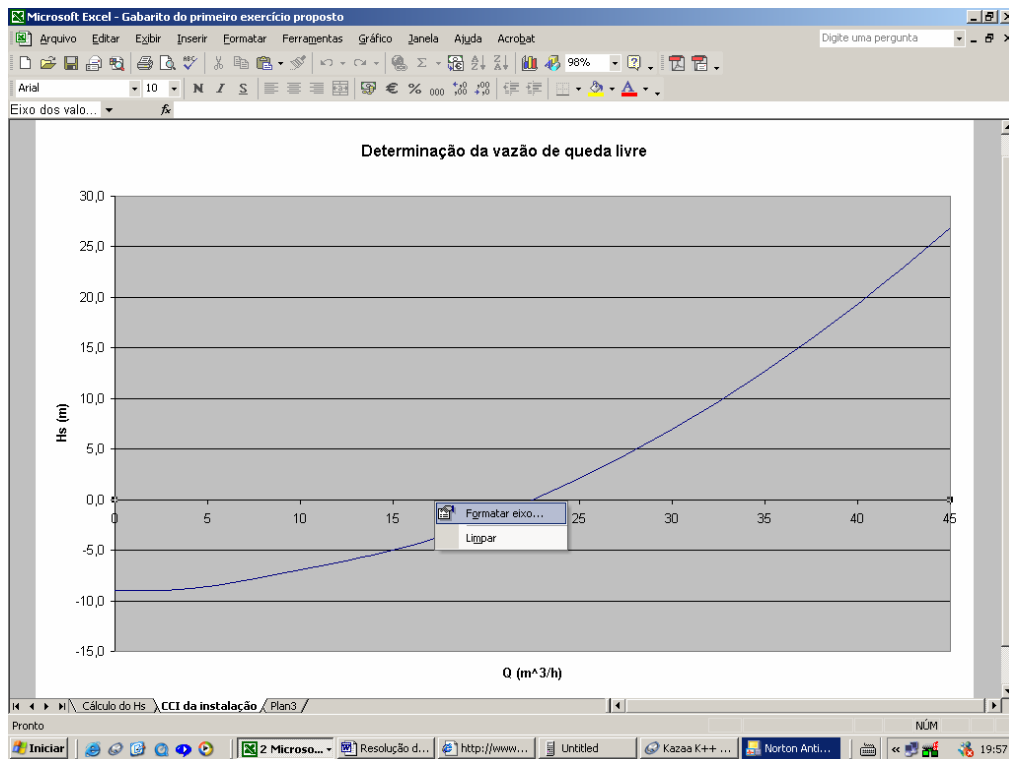


Figura 8

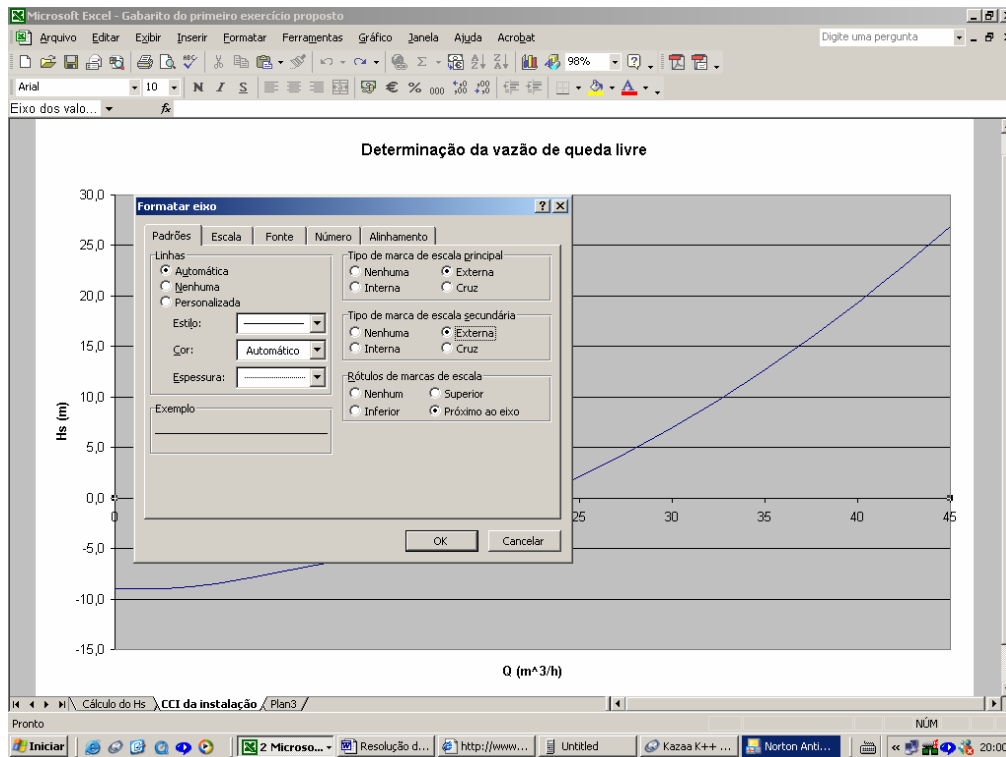


Figura 9

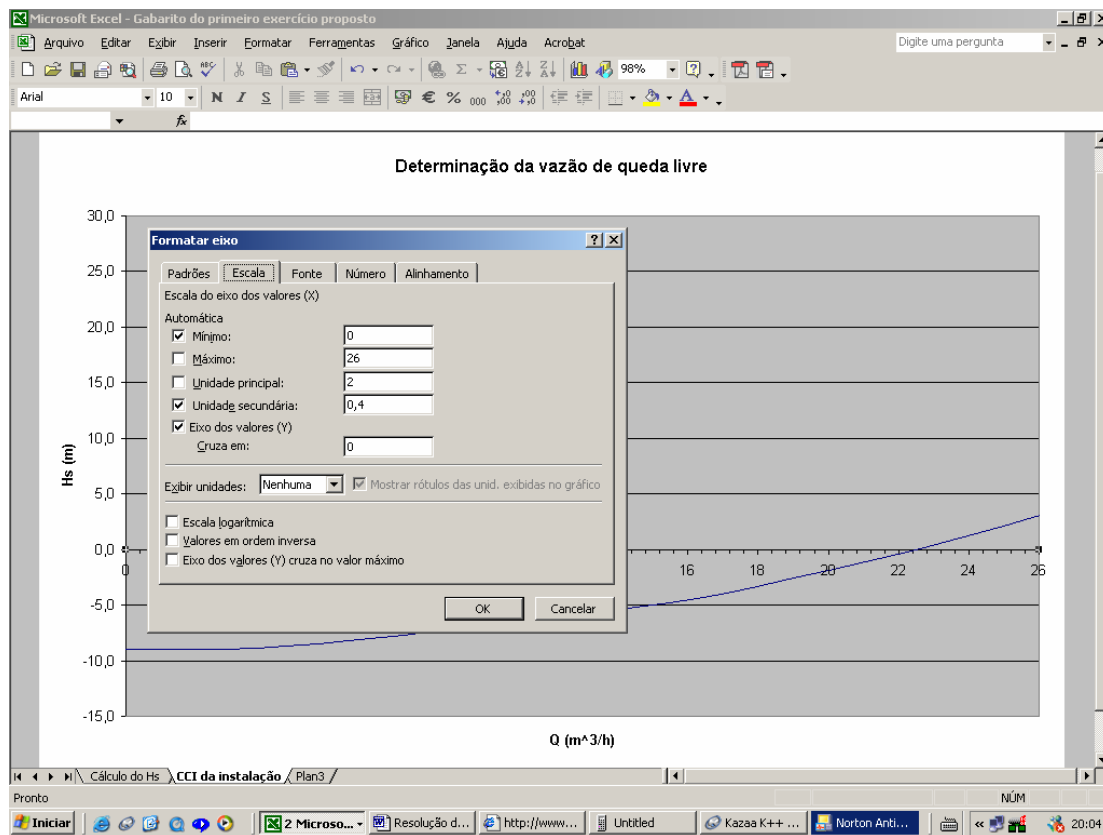


Figura 10

#### IV. Outra possibilidade:

IV.1. Leva-se a seta do mouse até a curva e clica-se do lado direito dele e aí em “**Tipo de gráfico**” (Figura 11)

IV.2. Troque o Subtipo de gráfico para **Dispersão. Compara pares de valores** e clica-se em “**OK**” (Figura 12)

IV.3. Em seguida leva-se a seta do mouse até um dos pontos da curva (Figura 13)

IV.4. Clica-se do lado direito do mouse e em “**Adicionar linha de tendência**” (Figura 14)

IV.5. Na aba “**Tipo**” clica-se em “**Polinomial**” e em “**ordem 2**” (Figura 15)

IV.6. Clica-se na aba “**Opções**” e aí em “**Exibir equação no gráfico**” e “**Exibir valor de  $r$ -quadrado no gráfico**” e em seguida clica-se em “**OK**” (Figura 16)

IV.7. Surge a CCI e a equação da sua linha de tendência (Figura 17)

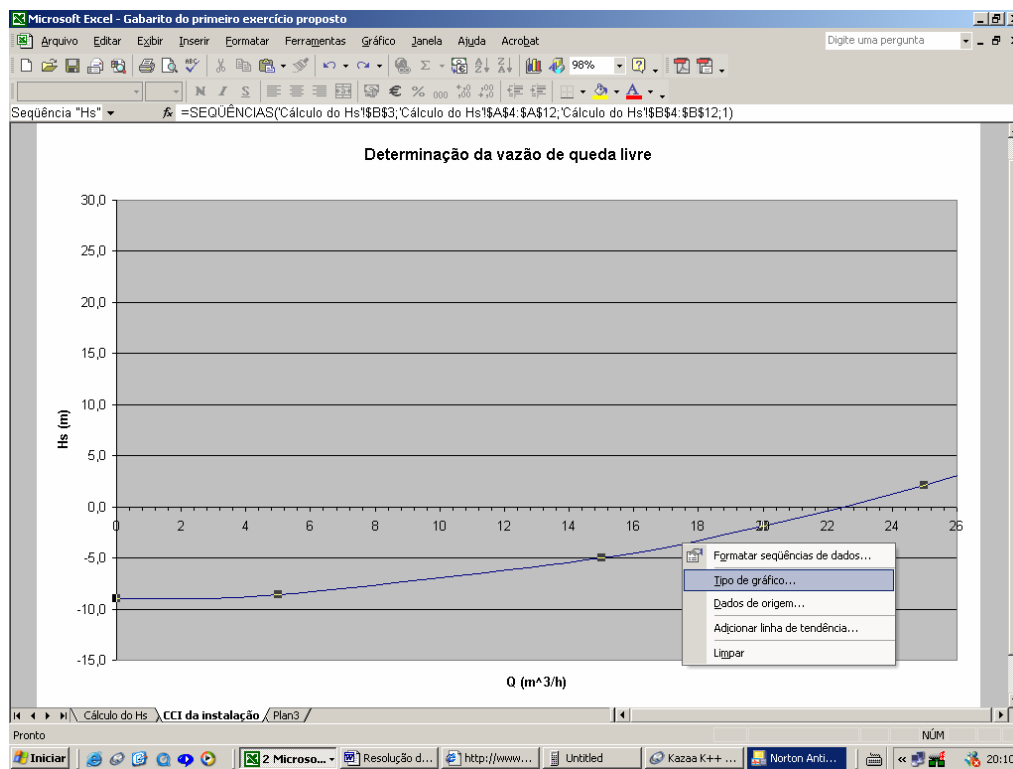


Figura 11

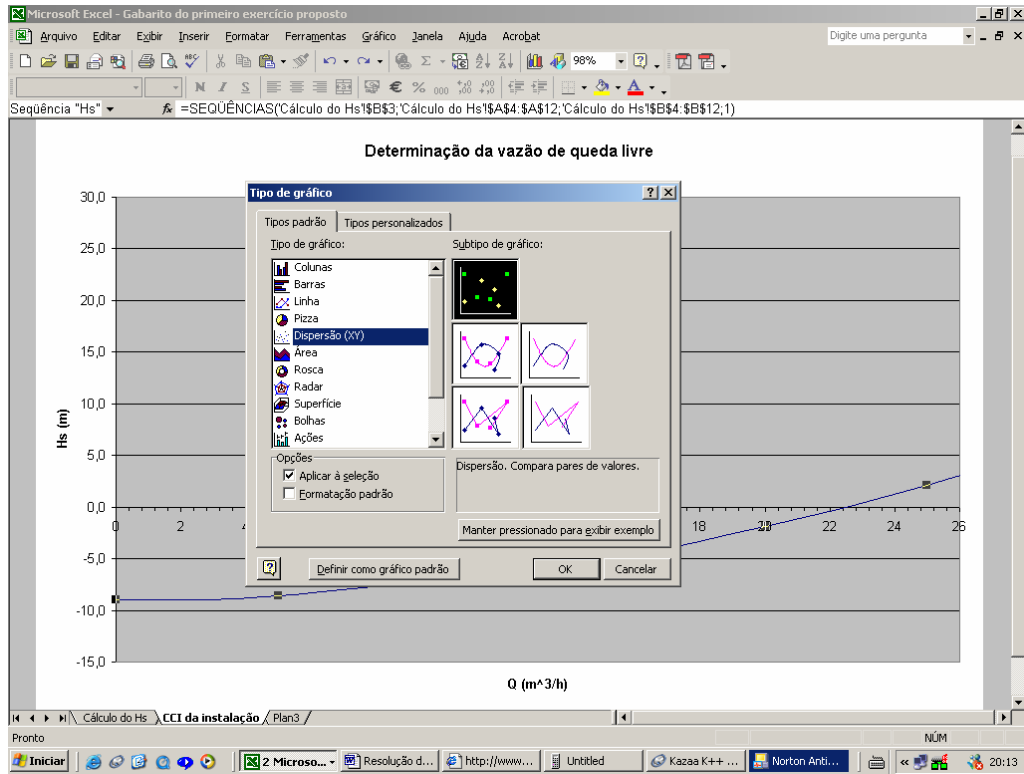


Figura 12

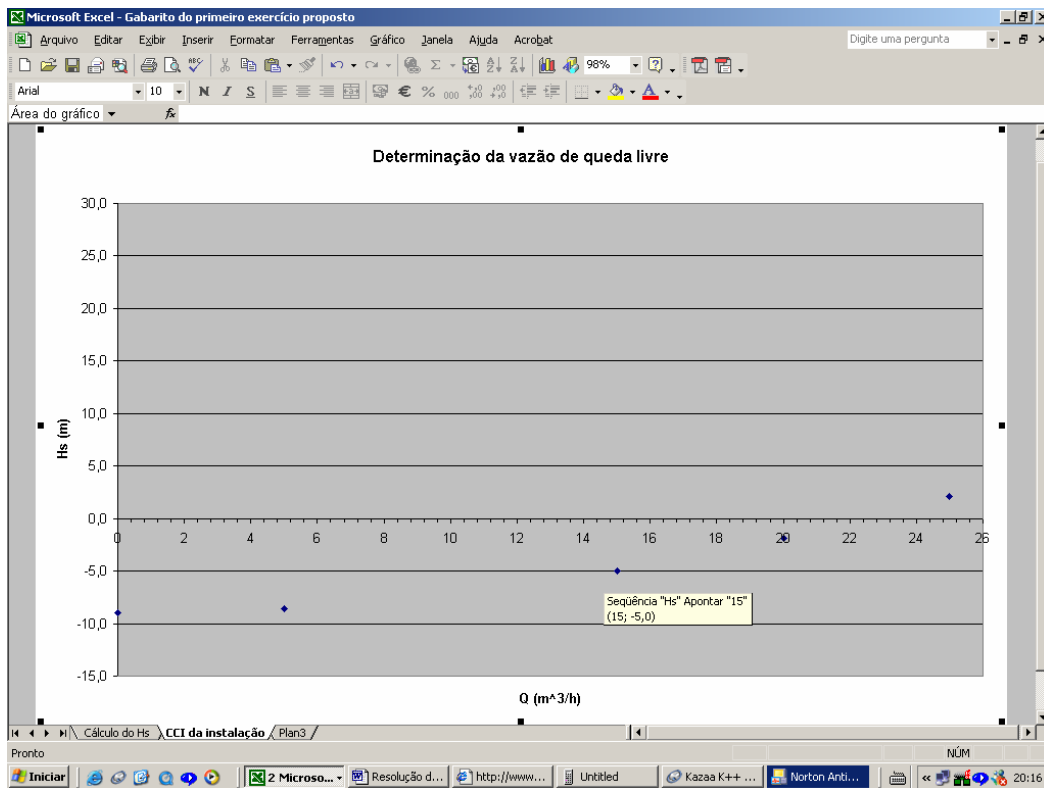


Figura 13

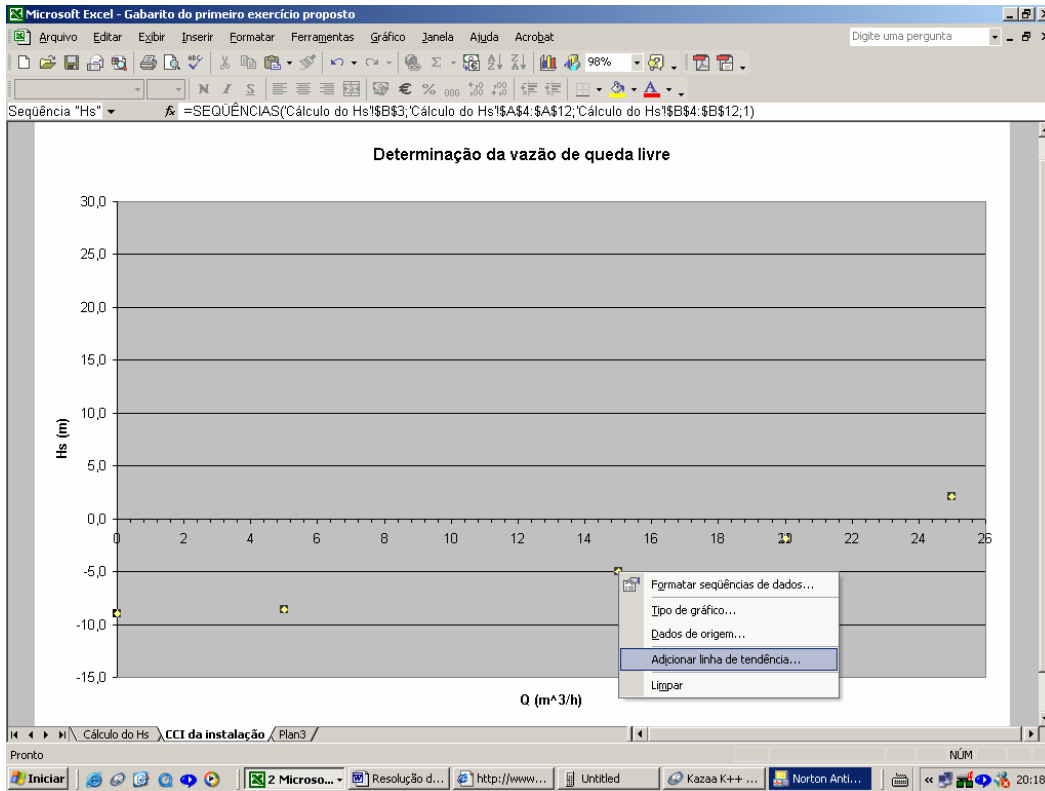


Figura 14

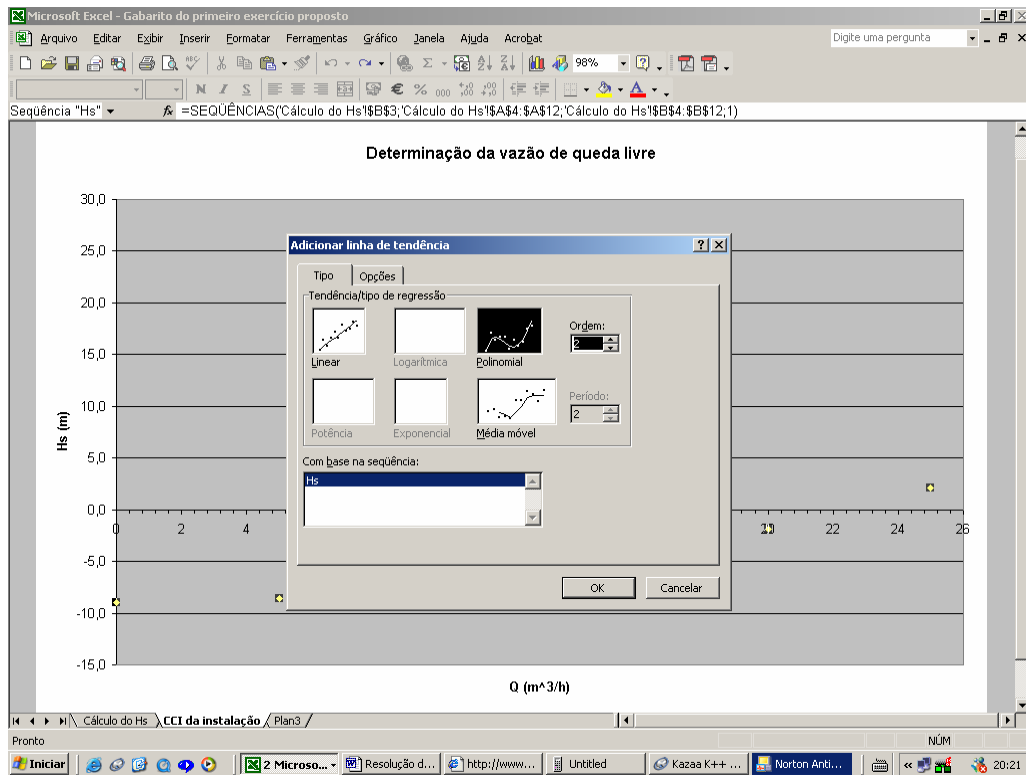


Figura 15

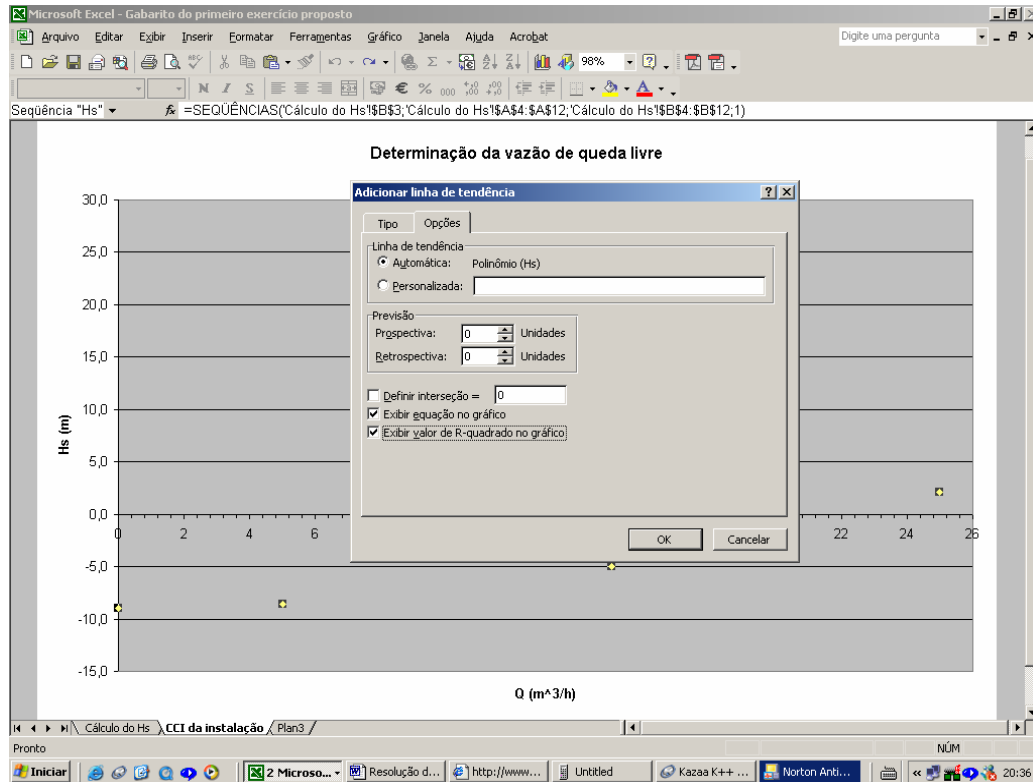


Figura 16

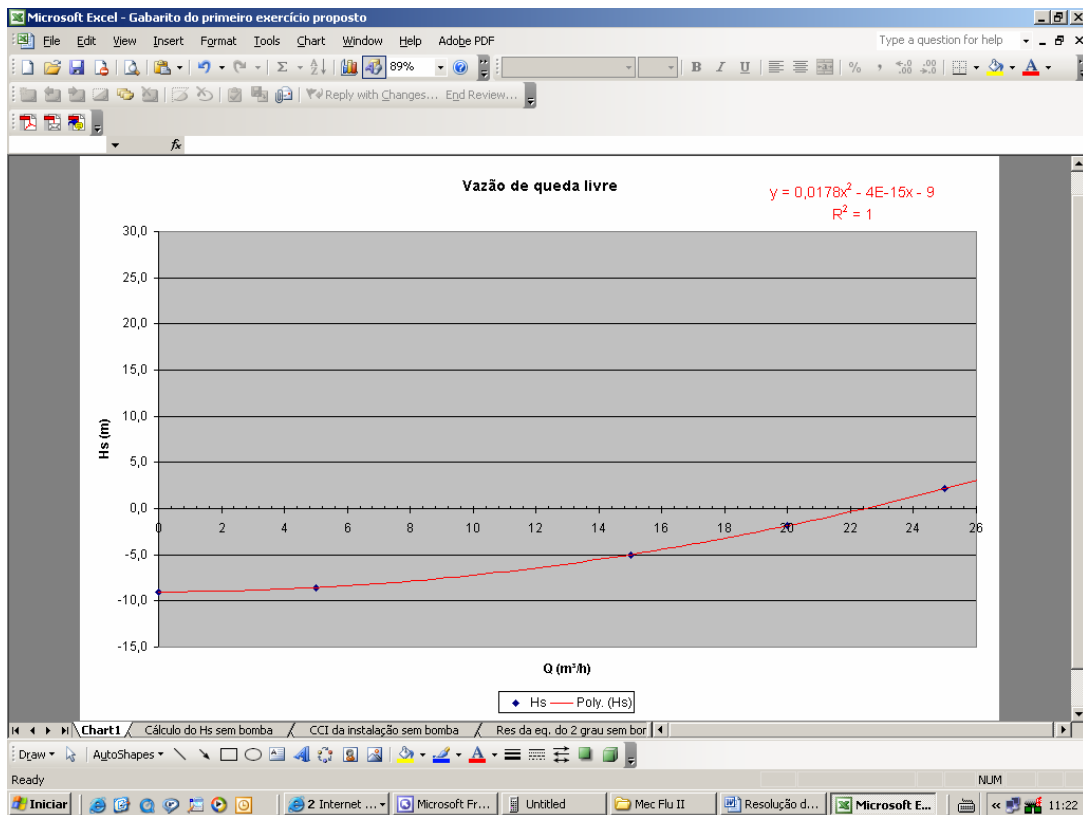


Figura 17

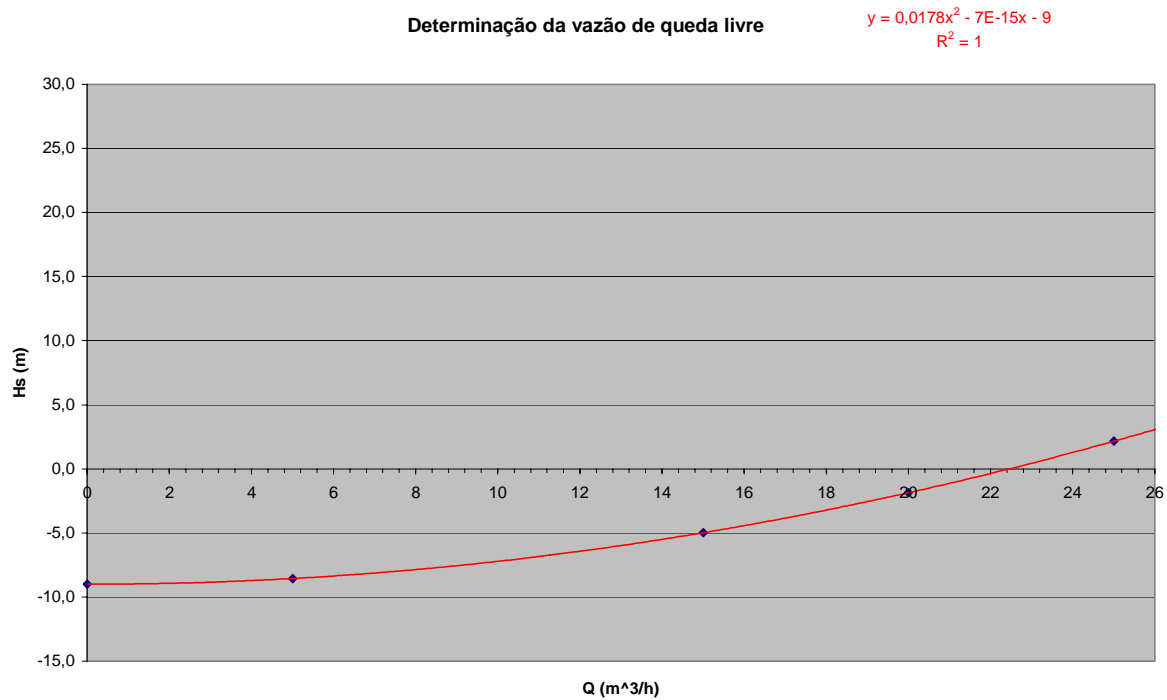
A seguir, no documento Microsoft Word, mostra-se a planilha do Excel, onde inclusive é possível se calcular a vazão de queda livre através da equação da linha de tendência. Para abrir a planilha, estando no Microsoft Word basta clicar duas vezes sobre a (Figura 18<sup>a</sup>)

### Cálculo da vazão de queda livre pelo método gráfico

Q (m <sup>3</sup> /h)	Hs
0	-9,0
5	-8,6
15	-5,0
20	-1,9
25	2,2
30	7,1
35	12,9
40	19,6
45	27,1

Já pela tabela anterior vemos que a vazão de queda livre está dentre 20 e 25m<sup>3</sup>/h

**Figura 18 a**



**Figura 18 b**

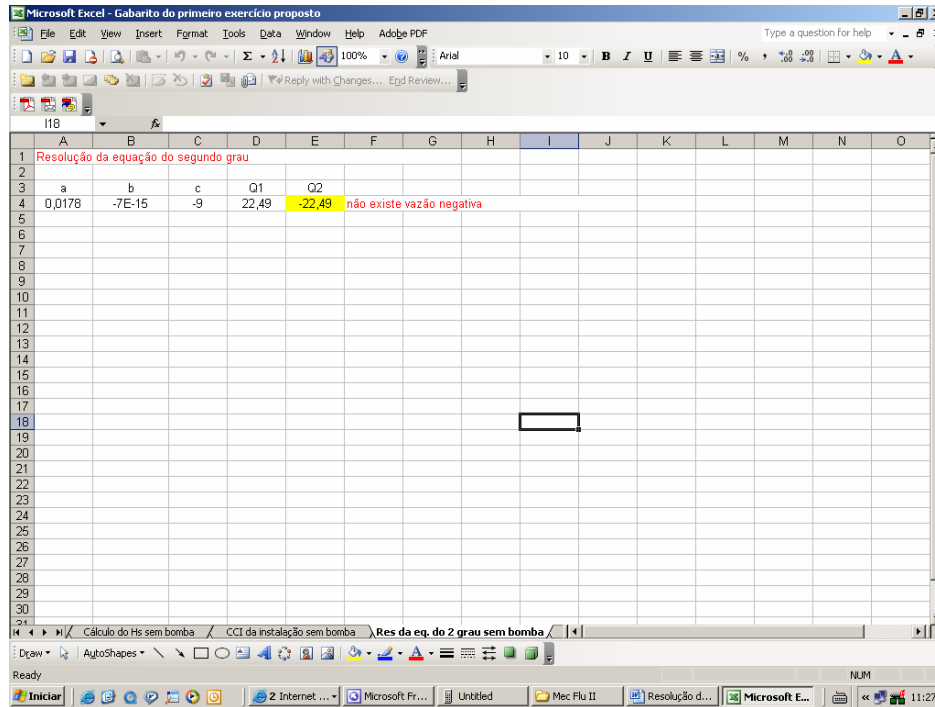


Figura 18 c

## 2ª – Instalação com bomba

Para o exercício proposto o que muda ao trabalharmos com a bomba seria:

- o comprimento da tubulação

$$L = 3 + 10 + 13 + 20 + (3 + 3 + 1 + 2 + 1 + 3) + 30 + 3 + 12 = 104 \text{ m}$$

- a somatória dos comprimentos equivalentes, onde os tês de passagem direta se transformam em **tês de saída de lado**, saí uma VGA e entram **duas VGA** e entram mais **4 cotovelos**, que no caso foi considerado o de raio médio, portanto:

$$\begin{aligned} \sum L_{eq} &= \text{saída normal} + 3 \times \text{válvula gaveta} + 9 \times \text{cotovêlo de raio médio} + \\ & 2 \times \text{tê saída de lado} + \text{válvula globo} + \text{saída de canalização} \\ &= 1,9 + 3 \times 0,4 + 9 \times 1,7 + 2 \times 4,3 + 21 + 1,9 = 49,9 \text{ m} \end{aligned}$$

As alterações anteriores influenciam no cálculo da perda de carga total:

$$H_{P_{\text{total}}} = 0,02 \times \frac{(104 + 49,9)}{62,7 \times 10^{-3}} \times \frac{Q^2}{2 \times 9,81 \times 30,9^2 \times 10^{-8}} = 262050,57Q^2$$

Levando-se em conta a perda anterior na equação da energia aplicada entre a seção inicial e final da instalação, resulta:

$$12 + H_{\text{sistema precisa}} = 3 + 5338,07Q^2 + 262050,57Q^2$$

$H_S = -9 + 267388,64Q^2 \Rightarrow$  que é a equação da CCI para a instalação operando com bomba. Através da equação da CCI numa planilha Excel pode-se efetuar os cálculos da carga que o sistema precisa para atuar com a bomba especificada, características semelhantes a que se determina na segunda experiência, ou seja, a experiência de determinação da CCB.

Iniciamos transcrevendo os valores de  $H_B = f(Q)$  e  $\eta_B = f(Q)$  e em seguida, segue-se a seqüência:

1. Marca-se a tabela com o mouse e clicando-se no assistente de gráfico, escolhe-se no tipo de gráfico: “**Dispersão (XY)**” e no subtipo de gráfico: “**Dispersão compara pares de valores**” e clica-se em “**Avançar**” (Figura 19)
2. Clica-se novamente em “**Avançar**” (Figura 20)
3. Preenche-se as lacunas: (Figura 21)
  - Título do gráfico: **Determinação do ponto de trabalho**
  - Eixo dos valores (X): **Q (m<sup>3</sup>/h)**
  - Eixo dos valores (Y): **Hs (m)**
4. Escolhe-se “**Como nova planilha**” e clica-se em “**Concluir**” (Figura 22)
5. Surge a Figura 23
6. Leva-se a seta do mouse em um dos pontos de cada curva e clicando com o lado direito dele seleciona-se “**Adicionar linha de tendência**” (Figura 24)

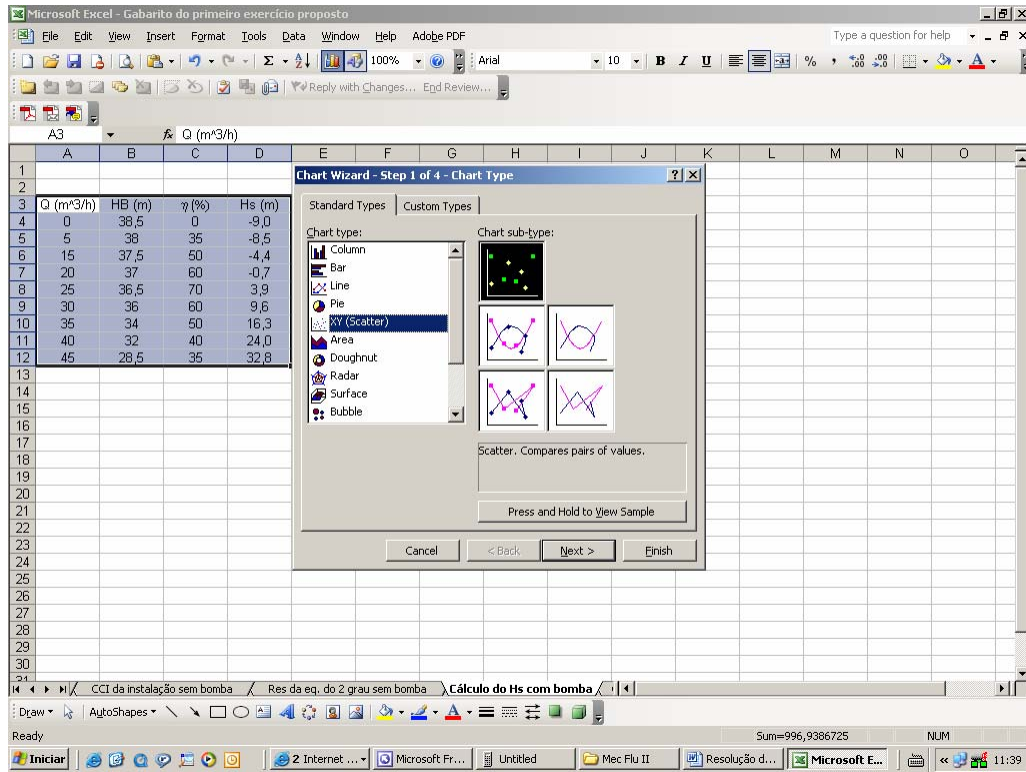


Figura 19

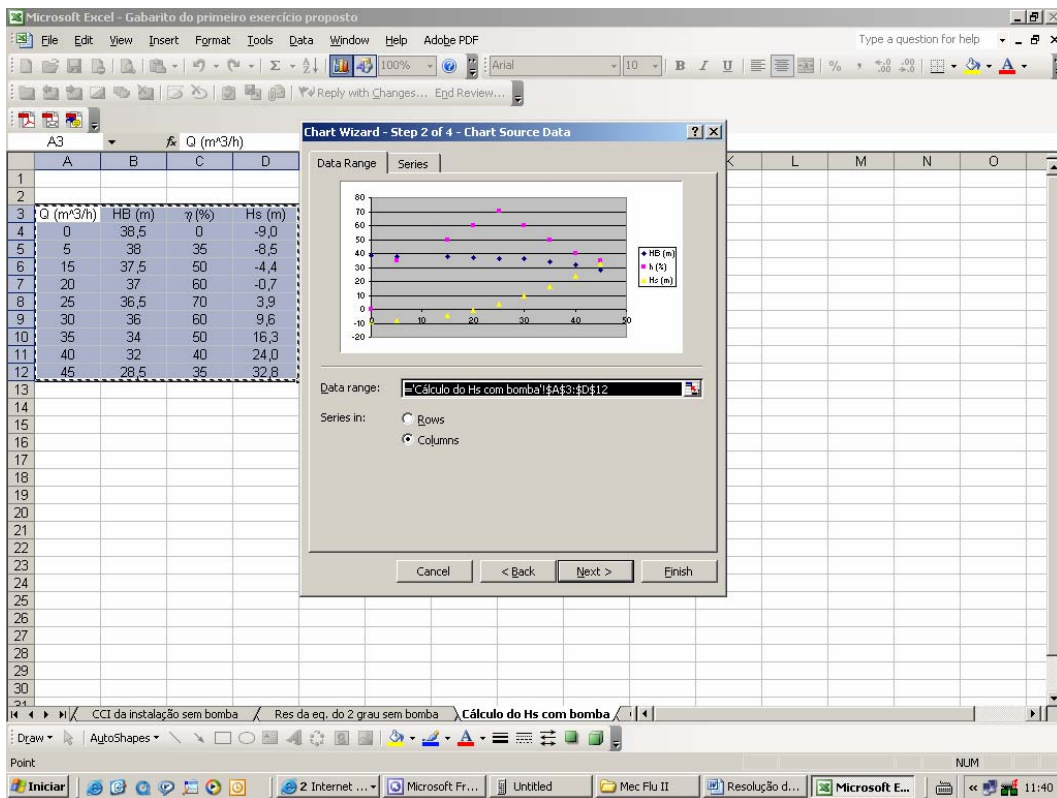


Figura 20

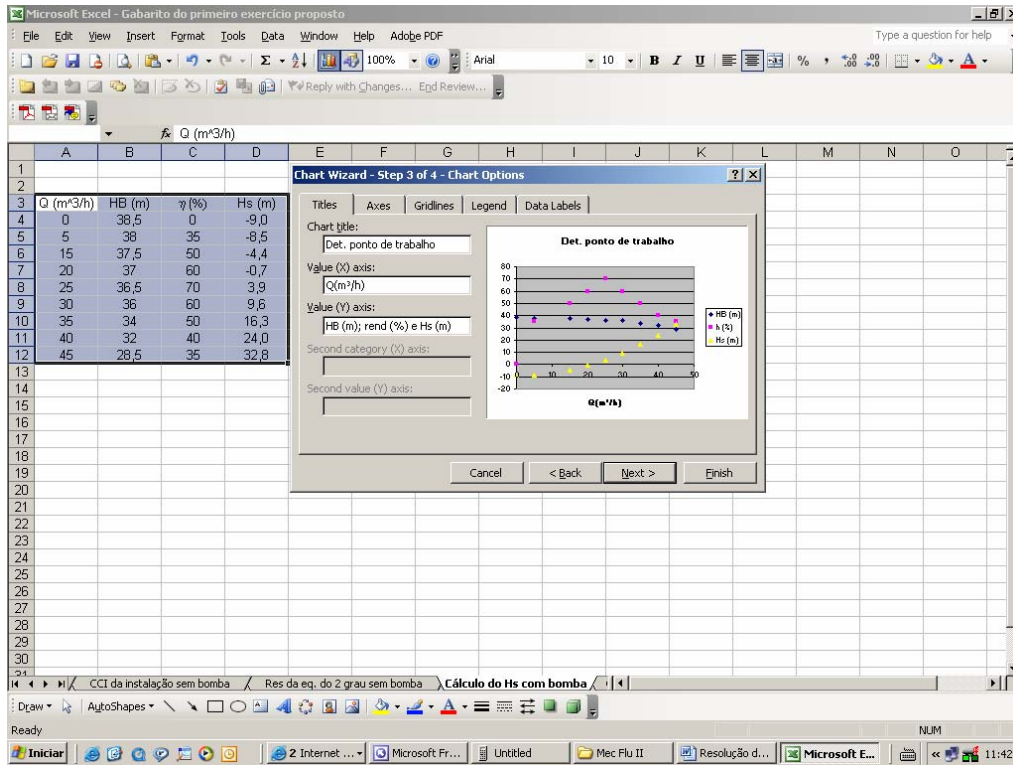


Figura 21

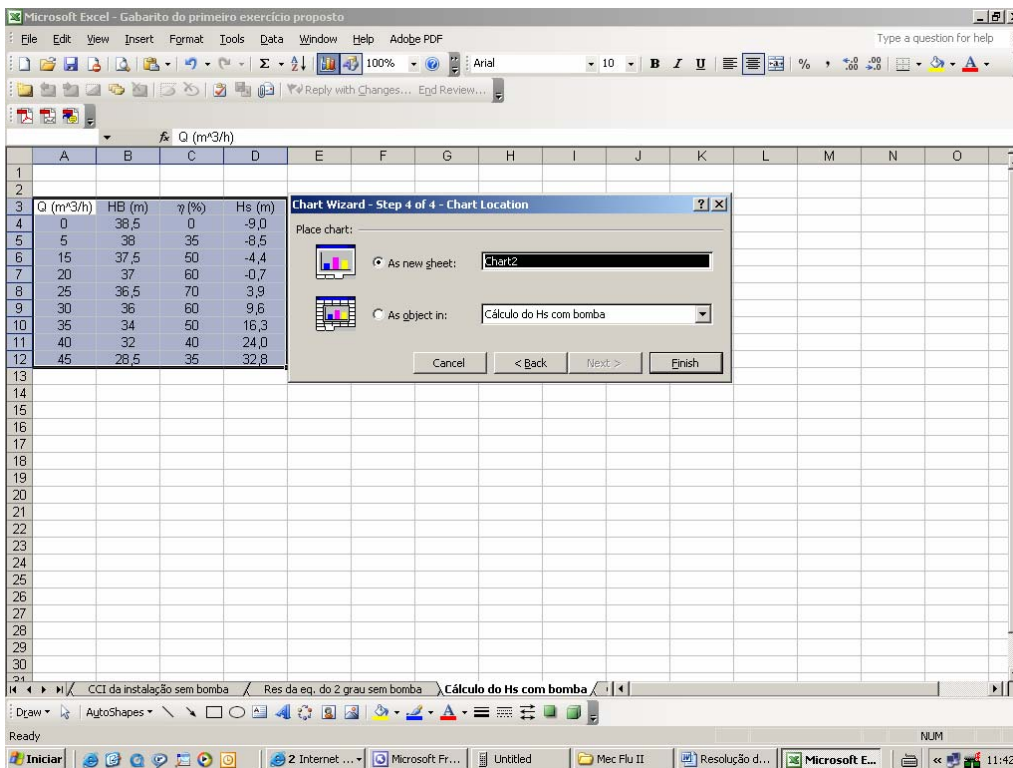


Figura 22

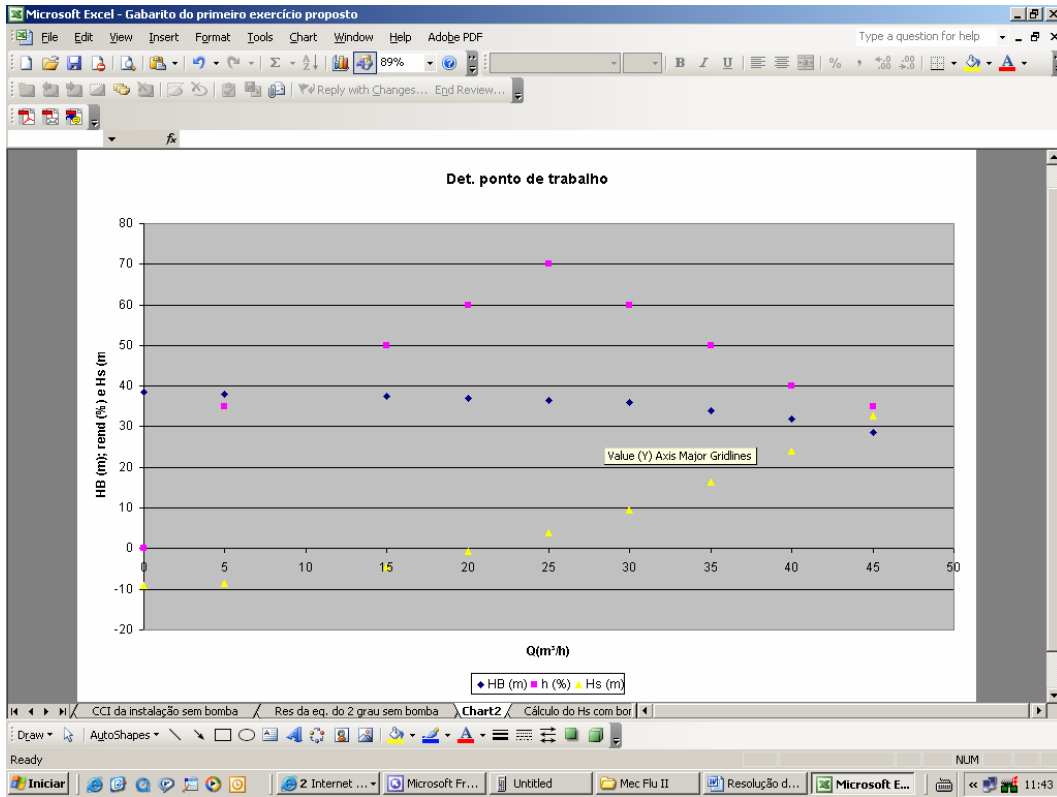


Figura 23

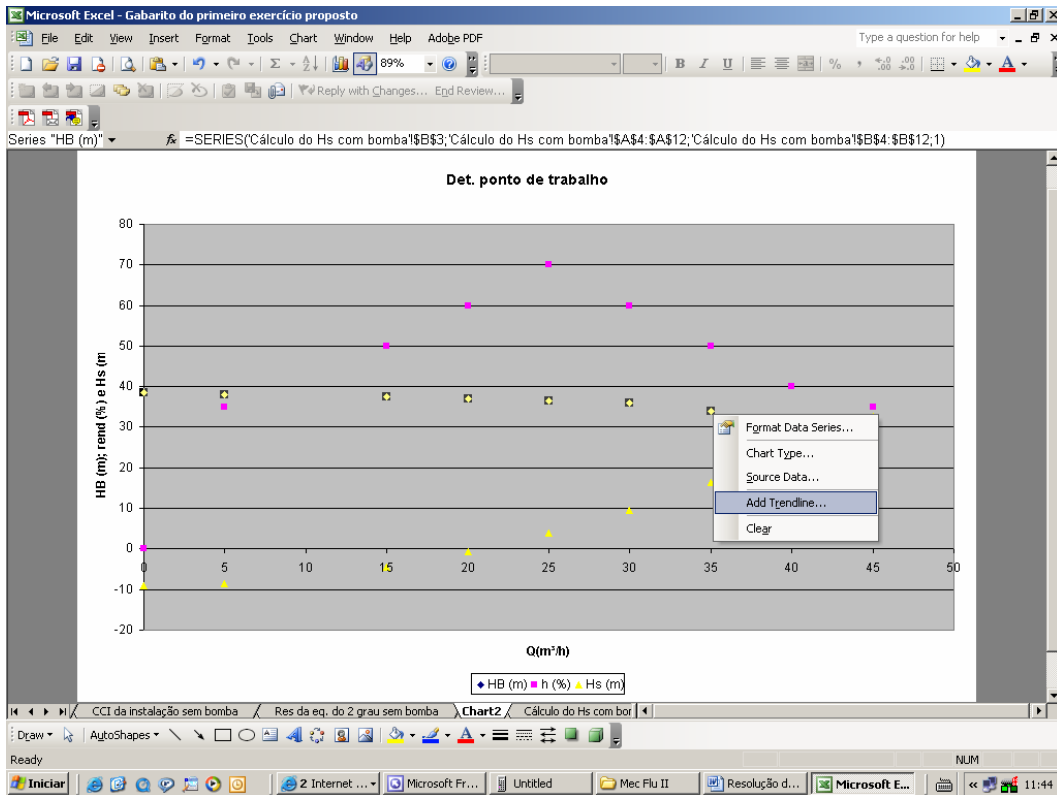


Figura 24

Para que possamos determinar o ponto de trabalho, que é representado pelo cruzamento da CCI com a CCB, já que neste ponto a bomba fornece a carga que o sistema necessita, fica claro, se desejarmos precisão, que deveremos introduzir as linhas de tendência em todas as curvas.

Para adicionar a linha de tendência para a CCB [ $H_B = f(Q)$ ], para a CCI [ $H_S = f(Q)$ ] é fundamental que sejam escolhido **Tipo – polinomial – Ordem 2** e nas **Opções marca-se: Exibir equação no gráfico** e **Exibir valor de R-quadrado no gráfico** (veja as figuras 15 e 16). Já para a curva do rendimento, opta-se pelo grau do polinômio que resulta no R-quadrado mais próximo de 1, **desde que nesta situação se calcule um rendimento coerente, ou seja, maior do que 0 e menor do que 100**. No nosso exemplo a opção foi pela ordem 4 (Figura 25)

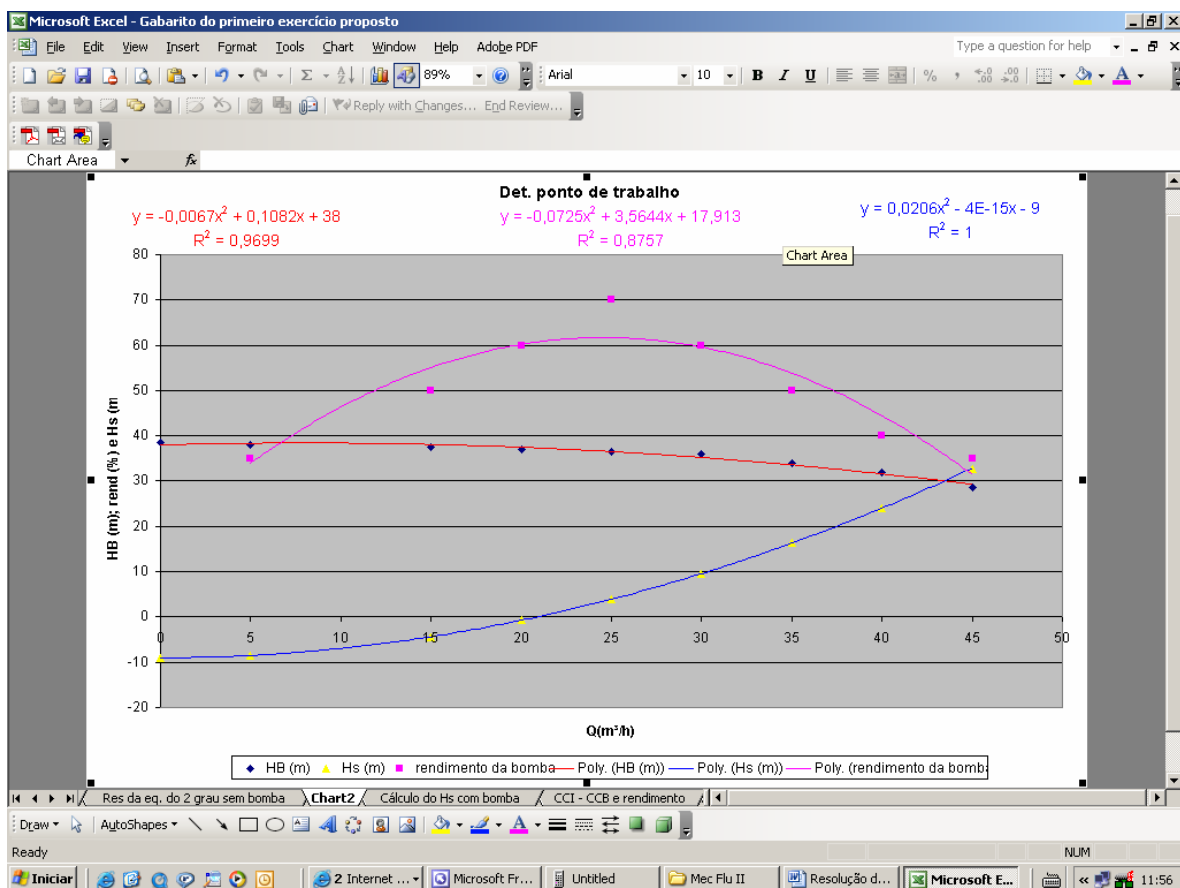


Figura 25

A partir das equações das linhas de tendências, podemos determinar o ponto de trabalho, ou seja:

$$\text{CCB} \Rightarrow H_B = -0,0067Q^2 + 0,1082Q + 38$$

$$\text{CCI} \Rightarrow H_S = 0,0206Q^2 - 4E - 15Q - 9$$

$$\text{Rendimento} \Rightarrow \eta_B = -0,0725Q^2 + 3,5644Q + 17,913$$

Como no ponto de trabalho, tem-se  $H_B = H_S$ , resulta:

$$0,0273Q^2 - 0,1082Q - 47 = 0$$

$$Q = \frac{0,1082 \pm \sqrt{(0,1082)^2 + 4 * 0,0273 * 47}}{2 * 0,0273} \therefore Q' = -39,56 \text{ que não existe} \rightarrow$$

$$Q'' = 43,52 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ que é a vazão do ponto de trabalho}$$

Substituindo a vazão do ponto de trabalho na equação da linha de tendência da CCB, ou na da CCI, obtemos a carga manométrica no ponto de trabalho, portanto:

$$H_B = -0,0067 * (43,52)^2 + 0,1082 * (43,52) + 38 \cong 30,02 \text{ m ou}$$

$$H_S = 0,0206 * (43,52)^2 - 4E - 15 * 43,52 - 9 \cong 30,02 \text{ m}$$

Para acharmos o rendimento no ponto de trabalho, substituímos a vazão obtida no ponto de trabalho na equação da linha de tendência, ou seja:

$$\eta_B = -0,0725 * (43,52)^2 + 3,5644 * 43,52 + 17,913 \cong 35,72\%$$

**Nota: Na prática este rendimento estaria muito baixo, o que certamente nos faria rever a escola da bomba.**

c) consumo de energia em  $\frac{\text{Kwh}}{\text{dia}}$

$$N_B = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{\eta_B \times 75} = \frac{1000 \times (43,52 / 3600) \times 30}{0,3572 \times 75} \approx 13,54 \text{ CV}$$

$$N_m = \frac{N_B}{\eta_m} = \frac{13,54}{0,9} = 15,04 \text{ CV} \Rightarrow \text{este é um valor de referência para a consulta dos}$$

motores comerciais que para a rede de 220 V seriam: ½; ¾; 1; 1½; 2; 3; 5; 7½; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200 CV, portanto estaríamos optando pelo motor de 15

CV, o que implica que o rendimento real seria:  $\eta_{m\text{real}} = \frac{13,54}{15} \times 100 = 90.3\%$

Tendo sido especificado a potência nominal do motor elétrico é possível se calcular a potência consumida da rede, já que elas são iguais, portanto sabendo que

$$1 \text{ CV} = 75 \frac{\text{Kgf} \times \text{m}}{\text{s}} = 75 \times 9,81 \frac{\text{N} \times \text{m}}{\text{s}} = 75 \times 9,81 \text{ w} = \frac{75 \times 9,81}{1000} \text{ Kw}, \text{ podemos escrever:}$$

$$\text{Consumo diário} = N_m (\text{Kw}) \times a \left( \frac{\text{h}}{\text{dia}} \right) = 15 \times \frac{75 \times 9,81}{1000} \times 16 = 176,58 \frac{\text{Kwh}}{\text{dia}}$$

d) Fecha-se a válvula até que a vazão caia a 60%, nesta situação deseja-se determinar o novo comprimento equivalente da válvula globo

$$Q_{\text{nova}} = 0,6 \times Q = 0,6 \times 43,52 \cong 26,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}, \text{ com esta nova vazão é possível determinar-se,}$$

tanto a nova carga manométrica, como o novo  $B_{\text{inst}}$ , portanto, partindo-se da equação da

$$\text{CCI, tem-se que: } H_S = -9 + B_{\text{inst}} \times Q^2, \text{ onde } H_S = H_B.$$

Considerando a equação da linha de tendência da CCB, resulta:

$$H_S = H_B = -0,0067 * (26,1)^2 + 0,1082 * (26,1) + 38 \cong 36,26 \text{ m}$$

$$36,26 = -9 + B_{\text{inst}} \times \left(\frac{26,1}{3600}\right)^2 \therefore B_{\text{inst}} = 861070,2 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5}$$

$$861070,2 = 1 + 0,02 \times \frac{(104 + 28,9 + L_{\text{eq}_{\text{novo}}})}{62,7 \times 10^{-3}} \times \frac{1}{2 \times 9,81 \times 30,9^2 \times 10^{-8}}$$

$$\therefore L_{\text{eq}_{\text{novo}}} = 372,8 \text{ m}$$

Para se responder o item e), deve-se recorrer aos valores das velocidades econômicas recomendadas (página 415 da unidade 7). No caso deste exercício, onde se tem uma instalação industrial recomenda-se que a velocidade esteja na faixa:  $0,9 < v < 2,2 \text{ m/s}$ .

Diante da informação anterior é possível efetuar a análise solicitada, portanto:

- Para a instalação operando em queda livre tem-se:  $Q = 22,49 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  em uma tubulação de aço Sch 40 com diâmetro nominal de 2 ½”, ou seja:

$$D_{\text{int}} = 62,7 \text{ mm} \rightarrow A_{\text{seção}_{\text{livre}}} = 30,9 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{\left(\frac{22,49}{3600}\right)}{30,9 \times 10^{-4}} = 2,02 \frac{\text{m}}{\text{s}} \therefore \text{o diâmetro não está fora da especificação}$$

- Para a instalação operando com bomba tem-se:  $Q = 43,52 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  em uma tubulação de aço Sch 40 com diâmetro nominal de 2 1/2", ou seja:
- $$D_{\text{int}} = 62,7 \text{ mm} \rightarrow A_{\text{seção livre}} = 30,9 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{\left( \frac{43,52}{3600} \right)}{30,9 \times 10^{-4}} = 3,91 \frac{\text{m}}{\text{s}} \therefore \text{o diâmetro está fora da especificação, portanto}$$

deve ser redimensionado



**É fundamental que se tenha mais do que um caminho a se percorrer, porém deve-se ter consciência que a responsabilidade da construção destes caminhos é nossa mesma.**