

Determinação do coeficiente de viscosidade da água pela lei de Poiseuille

PL 5 GGA Francisco Pereira T1

18

Objetivo: Determinação do coeficiente de viscosidade da água usando o escoamento num tubo capilar cilíndrico.

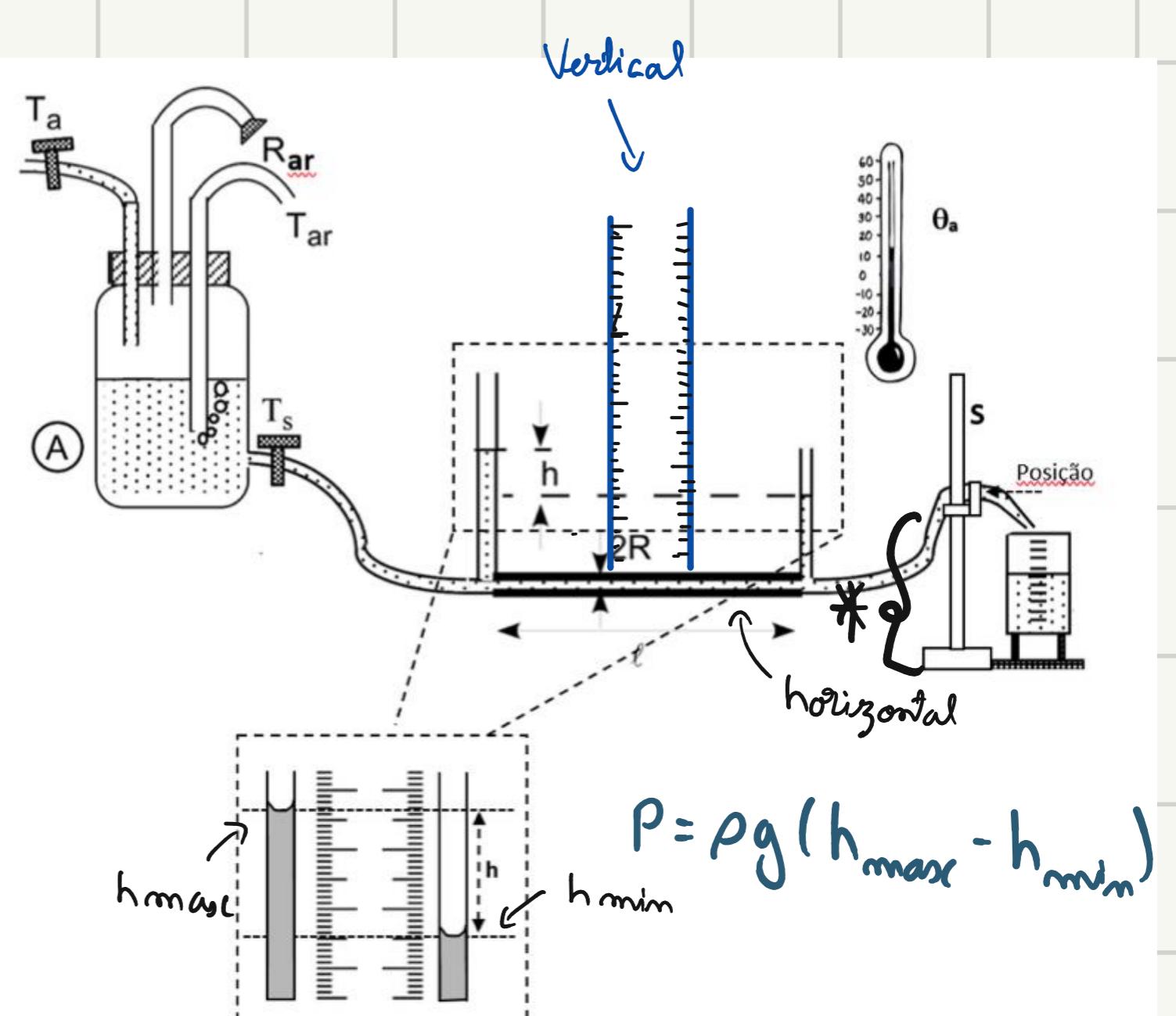
Execução experimental:

- A figura 1 representa, esquematicamente, o sistema usado em laboratório.

• O depósito A deve estar cheio, a uma altura constante (assegurando assim uma pressão constante na entrada do tubo de escoamento) à temperatura estabilizada θ_A .

• Para isso, o depósito A é cheio com antecedência de algumas horas, retirando a rolha R_{ar} com a ajuda duma gordura vedante.

Figura 1: Montagem experimental



• A tampa aberta T_{ar} garante que o interior do depósito se mantém à pressão ambiente.

• Os tubos de borracha por onde a água passa têm de estar livres de obstruções.

• Alterando a tampa T_s , o regime estacionário é atingido quando se observam bolhas no interior da água, como indicado na figura 1.

• O tubo capilar **tem que estar na horizontal**, para que não haja uma contribuição extra devido à variação de energia potencial ao longo dele.

• Registar os valores R e L , indicados na bancada.

• Verificar que a temperatura ambiente não se altera durante a execução, pois a viscosidade depende da temperatura. Verifica-la a cada ensaio

• Calcular o caudal em cada ensaio

• Para evitar que salpicuem gotas de água para as paredes da prateleira, deve-se tentar que que estas não caiam no centro da placa da água.

Também convém estar o mais perto possível da saída das gotas

$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$

$$Q = \frac{\pi R^4}{8 \eta L} P$$

utilizar eq. desta forma pois a incerteza é maior em Q do que em P

MCT
vídeo
OK

Análise e discussão dos resultados

→ obteve na internet. corresponde a Página para a temperatura média da exp.

Tabela 0

ρ água (kg/m^3)	el. gravítica $\pm 0,01$ (m/s^2)	Raio do tubo $\pm 2,50\text{E-}6$ (m)	comprimento do tubo $\pm 0,0005$ (m)
997,5	9,81	3,96E-04	0,325

casas decimais
justificadas posteriormente

Realizou-se a seguinte tabela com os dados obtidos (ja transformados de acordo com o SI).

tempo médio de reação humana

Tabela 1 - Dados exp. em unidades S.I.

Ensaios	Leitura	$V_{água} \pm 5\text{E-}7$ (m^3)	$t (\text{s}) \pm 0,25\text{s}$	$h_{\min} \pm 0,0005$ (m)	$h_{\max} \pm 0,0005$ (m)	h (cm)	$T \pm 0,1^\circ\text{C}$
0	1	5,0E-06	181	0,27	0,361	67,75	22,3
	2	1,00E-05	379	0,27	0,3605		22,3
	3	1,50E-05	571	0,27	0,36		22,4
	4	2,00E-05	755	0,27	0,36		22,4
	5	2,50E-05	939	0,27	0,36		22,4
1,1	1	5,0E-06	54	0,033	0,338	41,6	22,6
	2	1,00E-05	113	0,033	0,338		22,6
	3	1,50E-05	169	0,034	0,3385		22,6
	4	2,00E-05	226	0,033	0,3385		22,6
	5	2,50E-05	284	0,0335	0,338		22,6
1,2	1	5,0E-06	55	0,039	0,339	41,6	22,8
	2	1,00E-05	113	0,04	0,339		22,8
	3	1,50E-05	171	0,0395	0,34		22,8
	4	2,00E-05	229	0,039	0,3395		22,8
	5	2,50E-05	287	0,0395	0,34		22,8
2,1	1	5,0E-06	75	0,1285	0,348	51,5	22,9
	2	1,00E-05	154	0,1285	0,348		22,9
	3	1,50E-05	231	0,1285	0,348		22,9
	4	2,00E-05	310	0,1285	0,348		22,9
	5	2,50E-05	391	0,1285	0,3475		22,9
2,2	1	5,0E-06	77	0,129	0,348	51,5	23,0
	2	1,00E-05	156	0,129	0,348		23,0
	3	1,50E-05	235	0,129	0,348		23,0
	4	2,00E-05	315	0,129	0,348		23,0
	5	2,50E-05	393	0,129	0,348		23,0
3,1	1	5,0E-06	125	0,223	0,357	61,6	23,2
	2	1,00E-05	253	0,223	0,357		23,2
	3	1,50E-05	382	0,223	0,357		23,2
	4	2,00E-05	510	0,223	0,357		23,3
	5	2,50E-05	639	0,223	0,357		23,3
3,2	1	5,0E-06	121	0,223	0,3575	61,6	23,3
	2	1,00E-05	250	0,223	0,357		23,3
	3	1,50E-05	382	0,223	0,357		23,3
	4	2,00E-05	511	0,223	0,357		23,4
	5	2,50E-05	638	0,223	0,357		23,4
4,1	1	5,0E-06	93	0,169	0,353	57,6	23,4
	2	1,00E-05	185	0,169	0,353		23,4
	3	1,50E-05	280	0,169	0,353		23,4
	4	2,00E-05	374	0,169	0,353		23,4
	5	2,50E-05	469	0,169	0,353		23,5
4,2	1	5,0E-06	92	0,17	0,352	57,6	23,5
	2	1,00E-05	186	0,17	0,352		23,5
	3	1,50E-05	282	0,1695	0,352		23,5
	4	2,00E-05	374	0,169	0,352		23,5
	5	2,50E-05	469	0,169	0,352		23,5
5,1	1	5,0E-06	63	0,073	0,343	46,5	23,6
	2	1,00E-05	126	0,073	0,343		23,6
	3	1,50E-05	191	0,073	0,343		23,6
	4	2,00E-05	256	0,0725	0,343		23,6
	5	2,50E-05	320	0,0725	0,343		23,6
5,2	1	5,0E-06	63	0,072	0,343	46,5	23,6
	2	1,00E-05	126	0,072	0,343		23,6
	3	1,50E-05	191	0,072	0,343		23,6
	4	2,00E-05	254	0,072	0,343		23,7
	5	2,50E-05	320	0,072	0,343		23,6
6,1	1	5,0E-06	128	0,221	0,3575	62,2	23,7
	2	1,00E-05	251	0,221	0,3575		23,7
	3	1,50E-05	376	0,221	0,3575		23,8
	4	2,00E-05	501	0,221	0,3575		23,8
	5	2,50E-05	630	0,221	0,3575		23,8
6,2	1	5,0E-06	121	0,221	0,357	62,2	23,8
	2	1,00E-05	251	0,221	0,357		23,8
	3	1,50E-05	381	0,221	0,357		23,8
	4	2,00E-05	511	0,221	0,357		23,8
	5	2,50E-05	637	0,221	0,357		23,8

→ representa a altura
que está a parte final
do cabo. Está na figura
1 em *. Não confundir
com $h_{\max} - h_{\min}$.

Como o
ensaio mā
foi rejeitado
este mā
foi considerado
na análise

No tempo da experiência houve uma mudança de mais de um grau. Saber-se também que a viscosidade é fortemente dependente da temperatura (esta descida específica de temperatura provoca um decréscimo de $\sim 3\%$ de η). Assim tememos de verificar

$$\eta = \frac{\rho g (h_{masc} - h_{min}) \times \pi R^4 t}{8 l V}$$

↓ comprimento do tubo capilar
 ↓ raio do tubo capilar
 sem gama dos 5ml (Explicação na pág. seguinte)

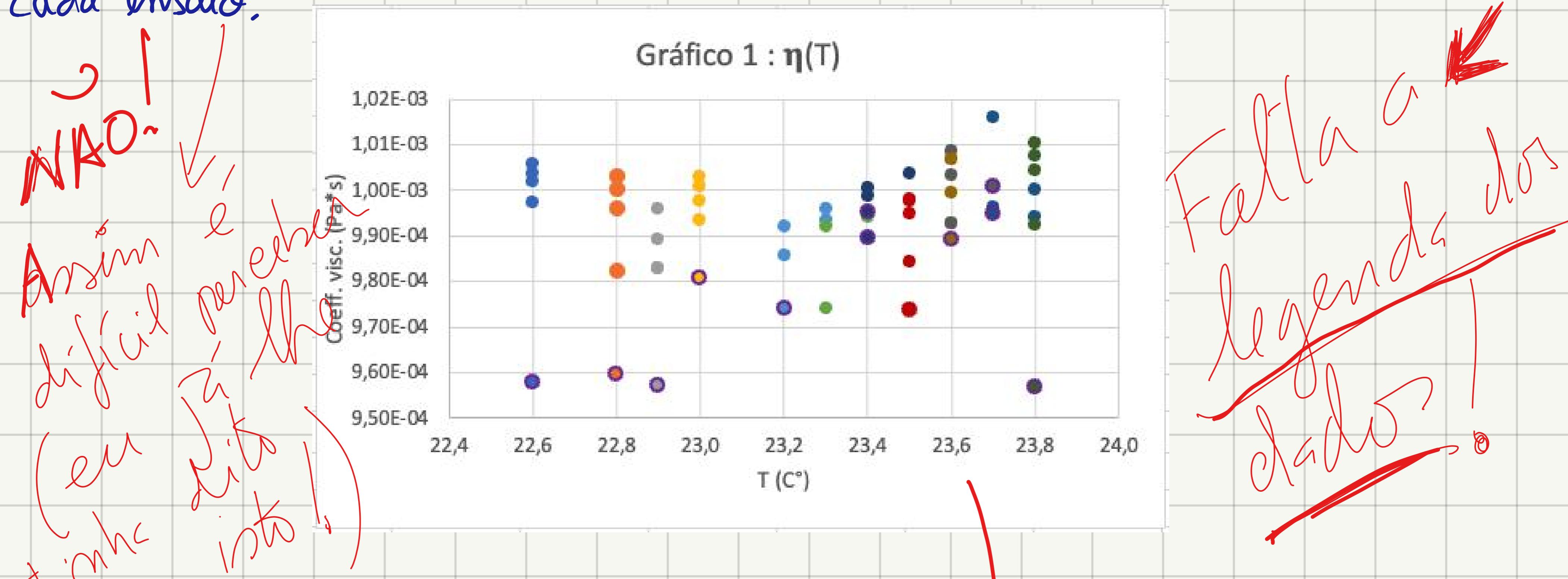
Os seguintes valores correspondem aos termos da prop. de inc. de sum das pontas (Ensaios 1.1 25 ml). As ordens de grandezza mantêm-se constantes para os outros pontos

$\frac{\partial \eta}{\partial g} \delta g$	$\frac{\partial \eta}{\partial V} \delta V$	$\frac{\partial \eta}{\partial t} \delta t$	$\frac{\partial \eta}{\partial h_{masc}} \delta h_{masc}$	$\frac{\partial \eta}{\partial h_{min}} \delta h_{min}$	$\frac{\partial \eta}{\partial R} \delta R$
1,03E-06	-2,01E-05	8,85E-07	1,65E-06	-1,65E-06	2,54E-05

$$S\eta = \sqrt{(\frac{\partial \eta}{\partial g} \delta g)^2 + (\frac{\partial \eta}{\partial V} \delta V)^2 + \dots}$$

Como podemos ver há dois termos numa ordem de grandezza acima que $\frac{\partial \eta}{\partial g} \delta g$ logo a incerteza de g ($0,01 \text{ m/s}^2$) não tem impacto significativo em $S\eta$ ou seja ter-se-á sucesso na escolha das casas decimais da aceleração gravitacional.

Para a análise do η em função da temperatura fez-se os seguintes gráficos. As cores de cada ponto correspondem ao ensaio da Tabela 1 com a mesma cor. Os pontos com linha estreita grossa correspondem ao primeiro ponto (5ml) de cada ensaio.



Com o gráfico 1 verifica-se que os primeiros pontos de cada ensaio se encontram bastante afastados dos restantes pontos do ensaio. Isto sugere que não se utilize a gama de 5ml para uma futura análise Q(P) com todos os ensaios. Assim, os gráficos 2, 3 e 5 ignoraram esta gama para se fazer as médias.

O que tira daqui?

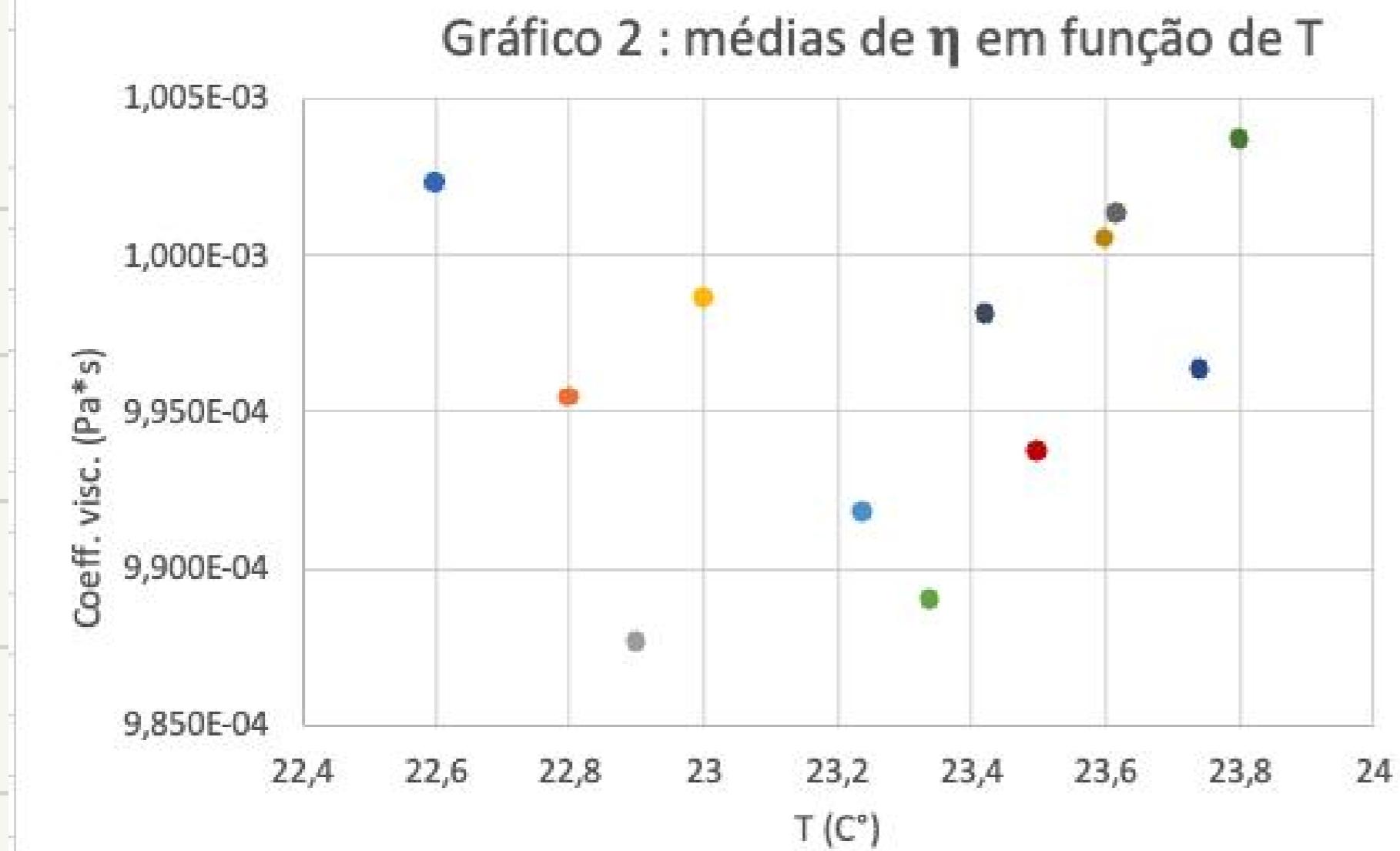
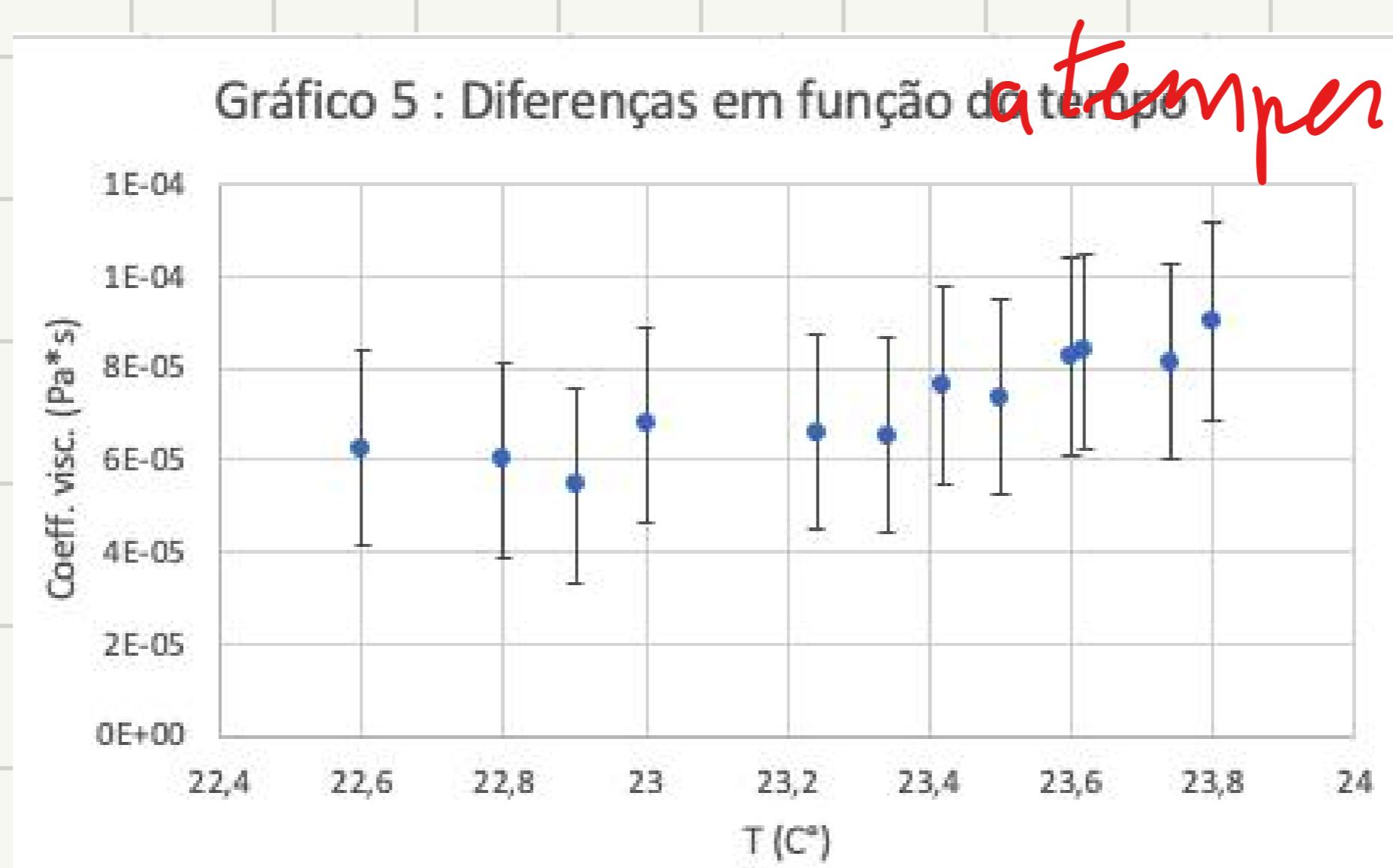
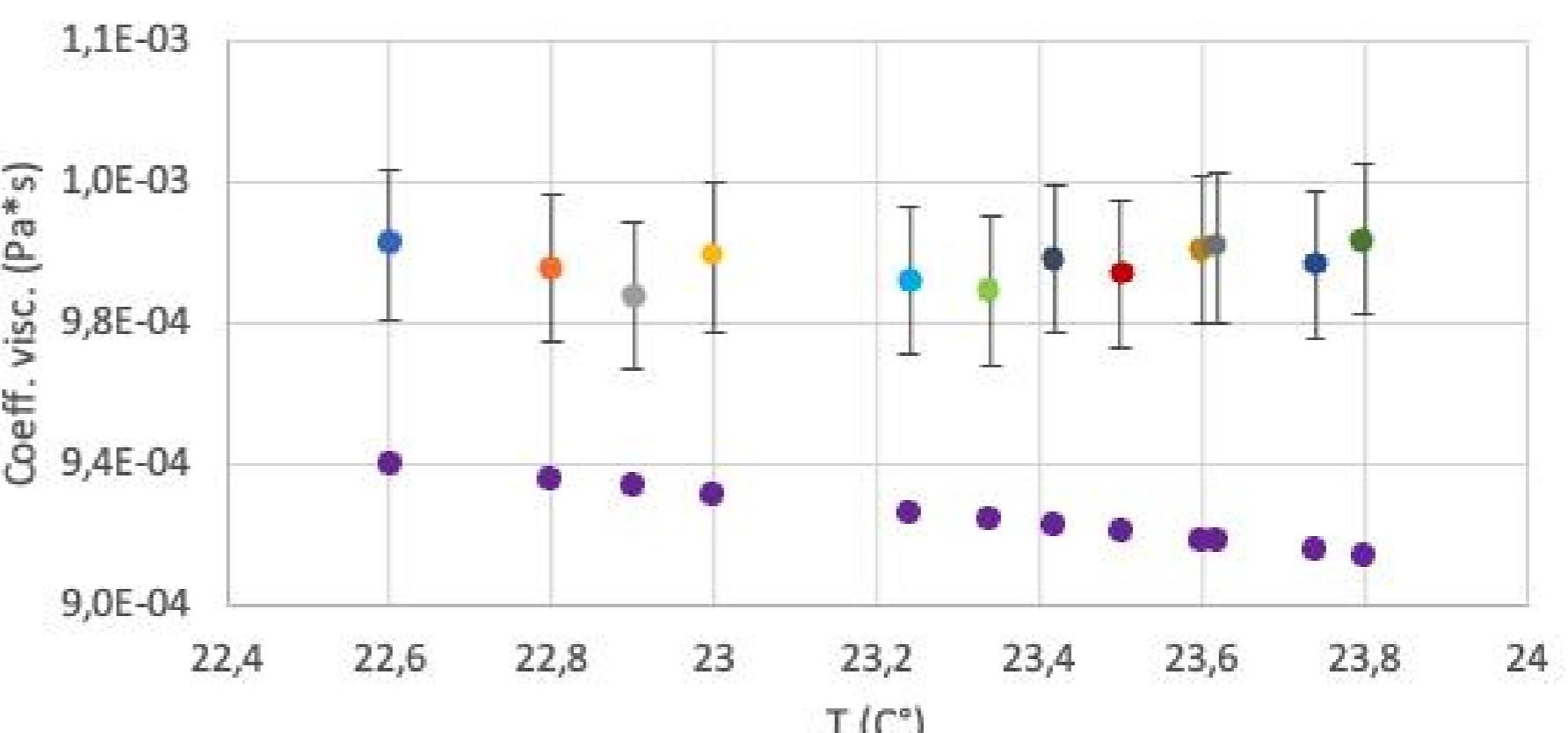


Gráfico 4 : médias de η em função de T com os valores teóricos



Faltam as
legendas
dados!

O gráfico 2 aparenta mostrar aleatoriedade na distribuição de $\eta(T)$. No entanto, os gráf. 4 e 5 mostram que as barras de incerteza englobam a provável descida de temperatura. Para além disso estes dois últimos gráficos mostram a clara existência de um erro sistemático, quando se calcula η usando apenas um valor de P, o que não admira. Assim, como as incertezas englobam a descida de temperatura, decidiu-se fazer análise habitual onde se considera η como constante.

Para escolher a gama experimental que se vai usar para o cálculo do η , fez-se ajustes para as gomas de 5ml, 10ml, 15ml, 20ml, 25ml.

Gráficos demarcados pequenos, zeros a + nas escalas, linhas grossas, nenhos grandes!

Grafico 6 : Ajuste 5ml

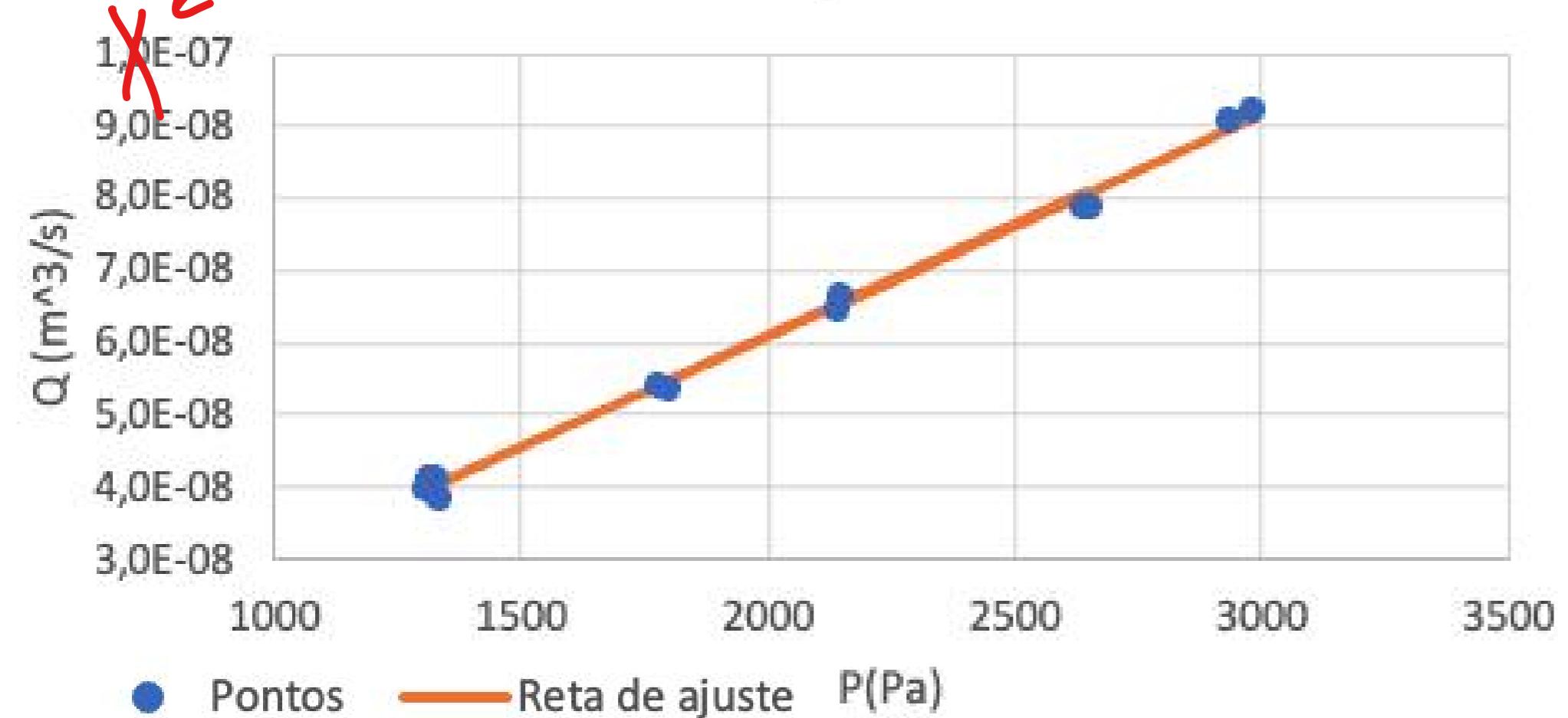


Gráfico 3 : Todos os pontos

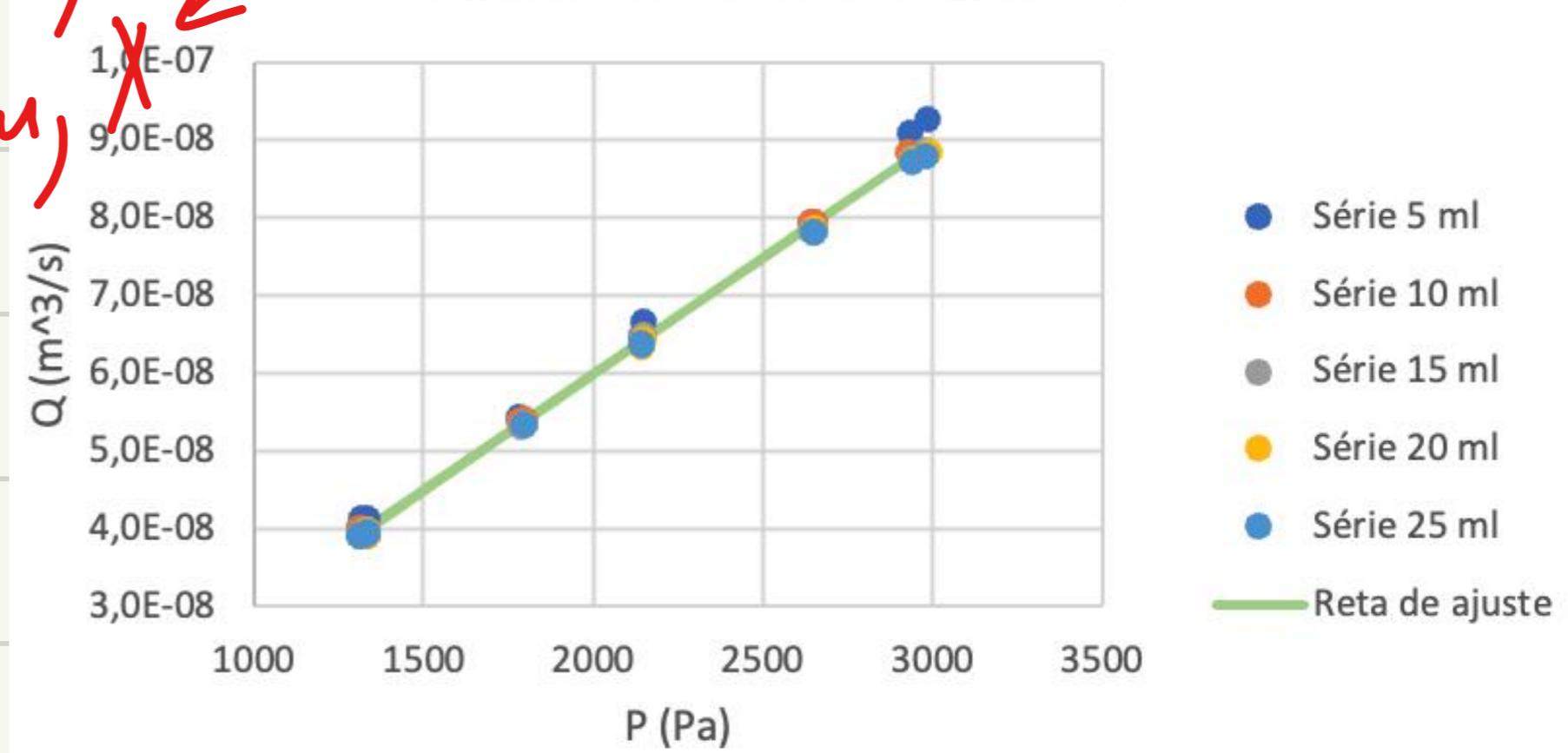


Gráfico 7 : Resíduos 5 ml

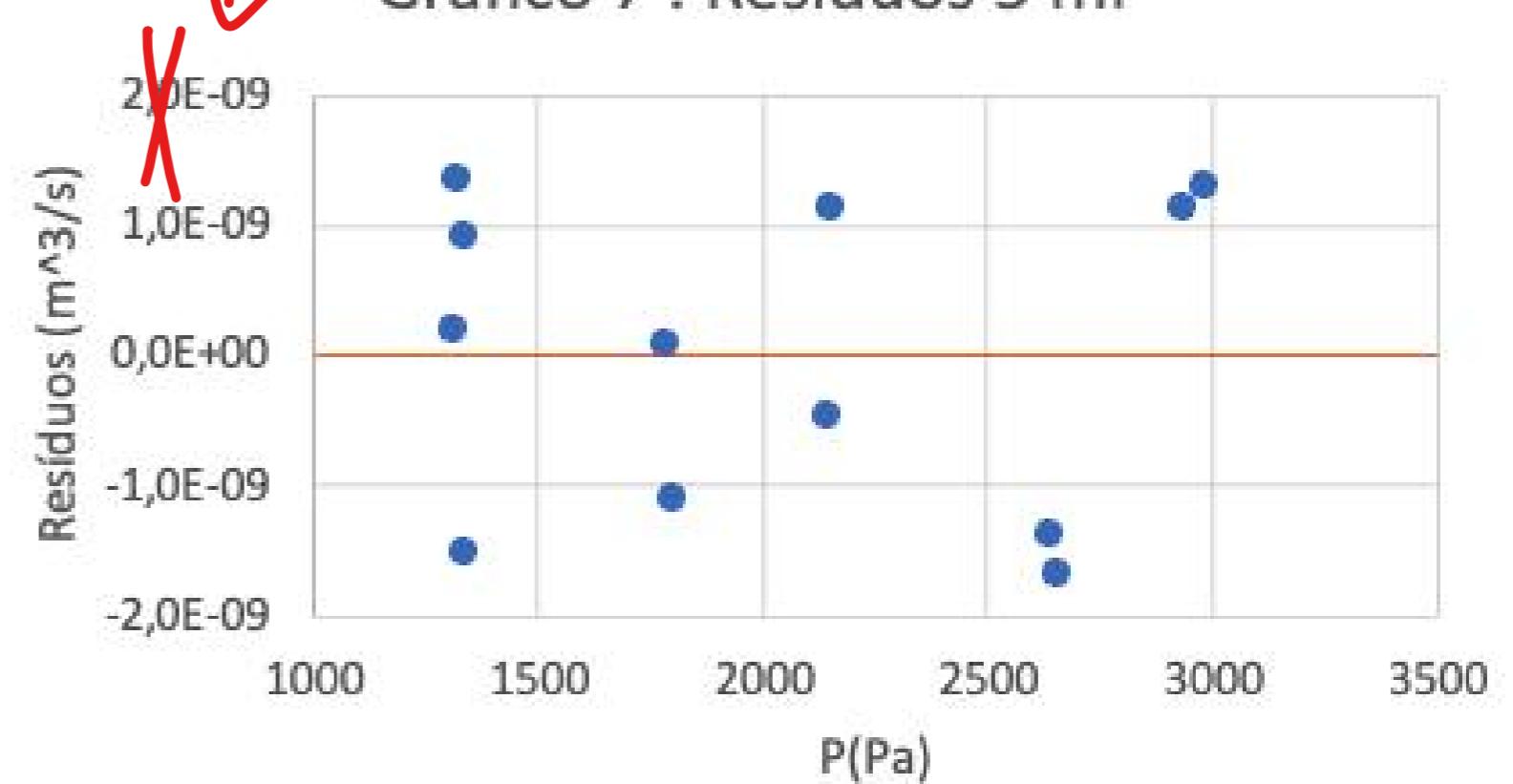
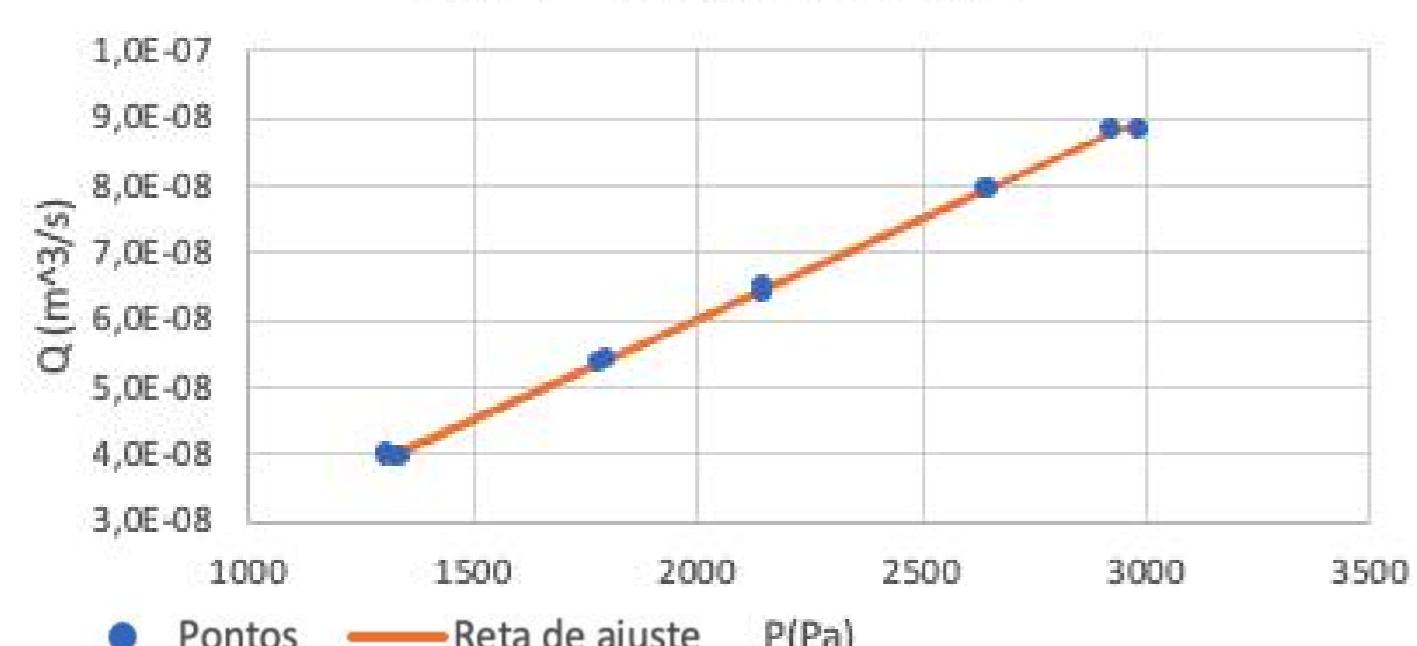


Tabela 3 - Matriz de ajuste linear 5ml

m	3,08E-11	0	b
s _m	6E-13	1E-09	s _b
r ²	0,997	1E-09	s _y

Gráfico 8 : Ajuste 10 ml



Resíduos
↓
barra de incerteza
medida dos ensaios!

Gráfico 9 : Resíduos 10 ml

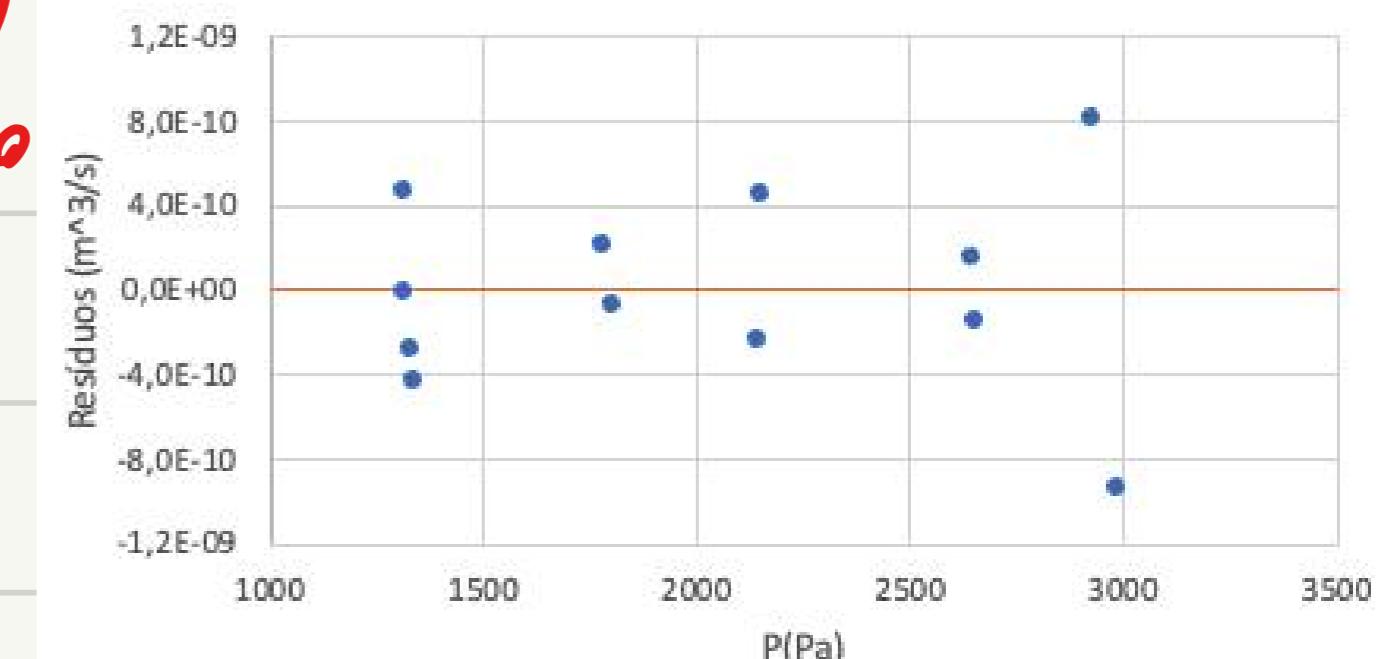


Tabela 4 - Matriz de ajuste linear 10 ml

m	2,98E-11	0	b
s_m	2E-13	5E-10	s_b
r^2	0,9994	5E-10	s_y

Gráfico 10 : Ajuste 15ml

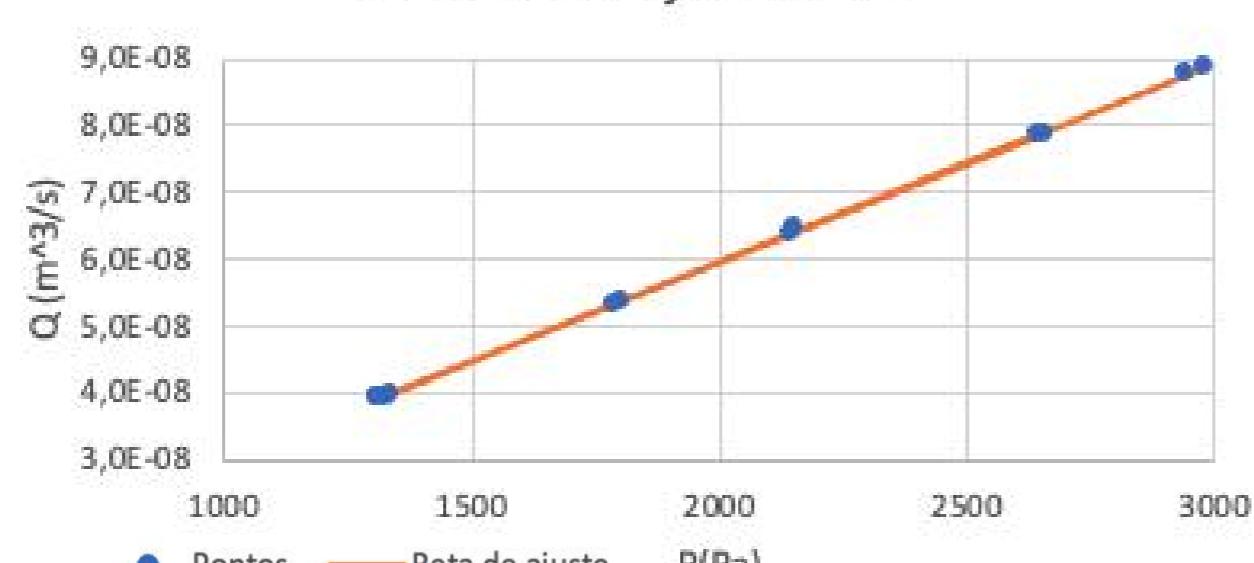


Tabela 7 - Matriz de ajuste linear 15 ml

m	2,97E-11	0	b
s_m	2E-13	4E-10	s_b
r^2	0,9997	4E-10	s_y

Gráfico 13 : Ajuste 20 ml

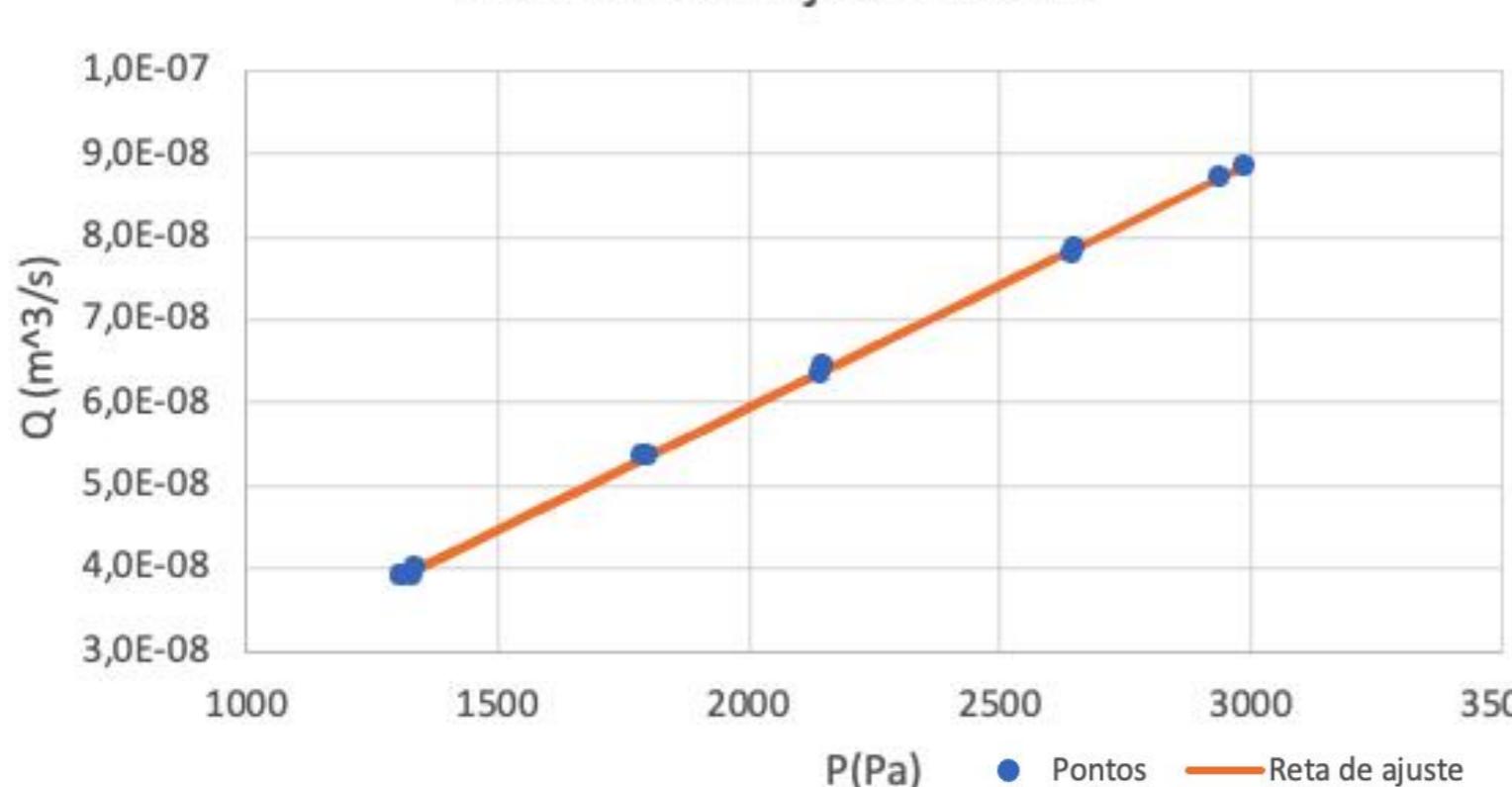


Gráfico 14 : Resíduos 20 ml

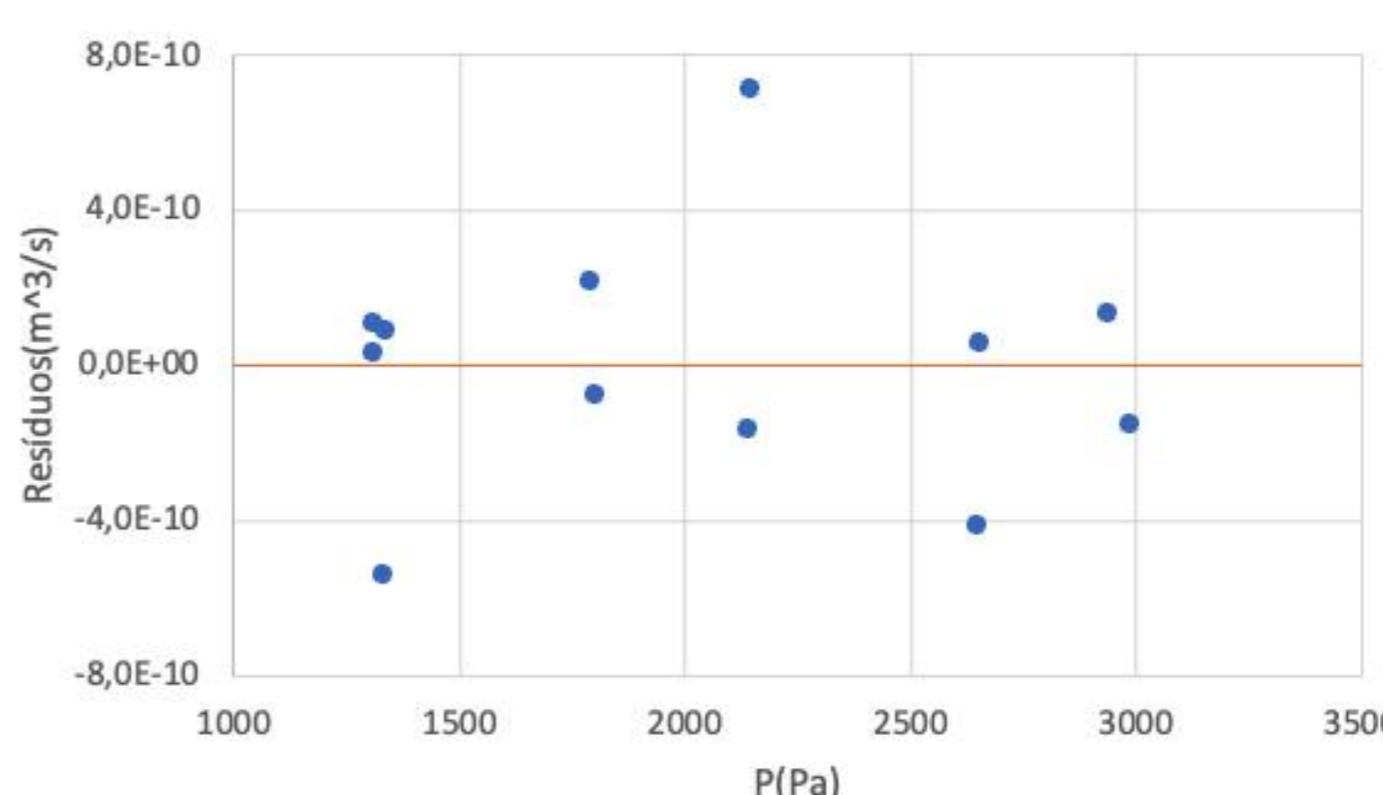


Tabela 6 - Matriz de ajuste linear 20 ml

m	2,95E-11	0	b
s_m	2E-13	3E-10	s_b
r^2	0,9997	3E-10	s_y

Gráfico 15 : Ajuste 25 ml

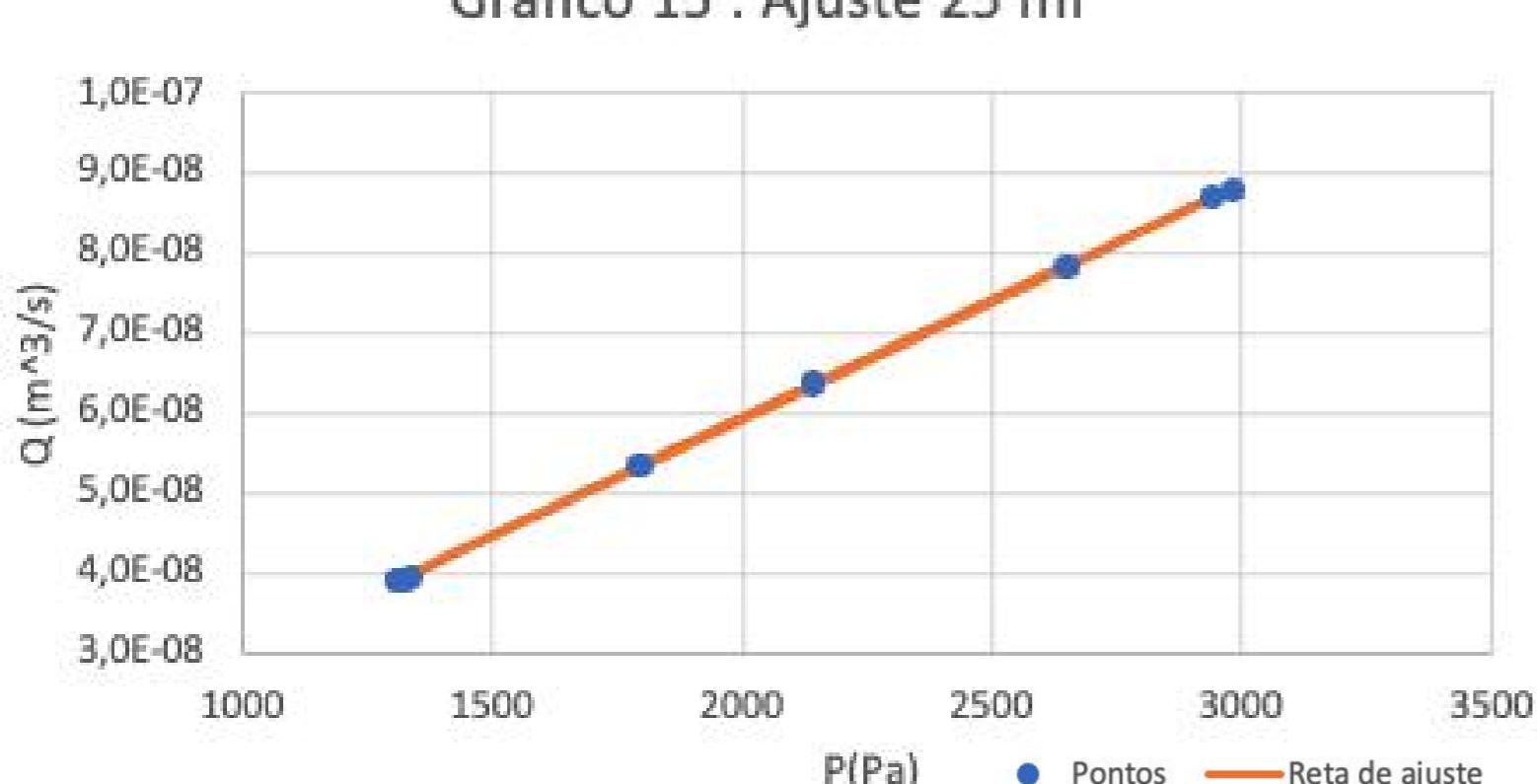


Gráfico 16 : Resíduos 25 ml

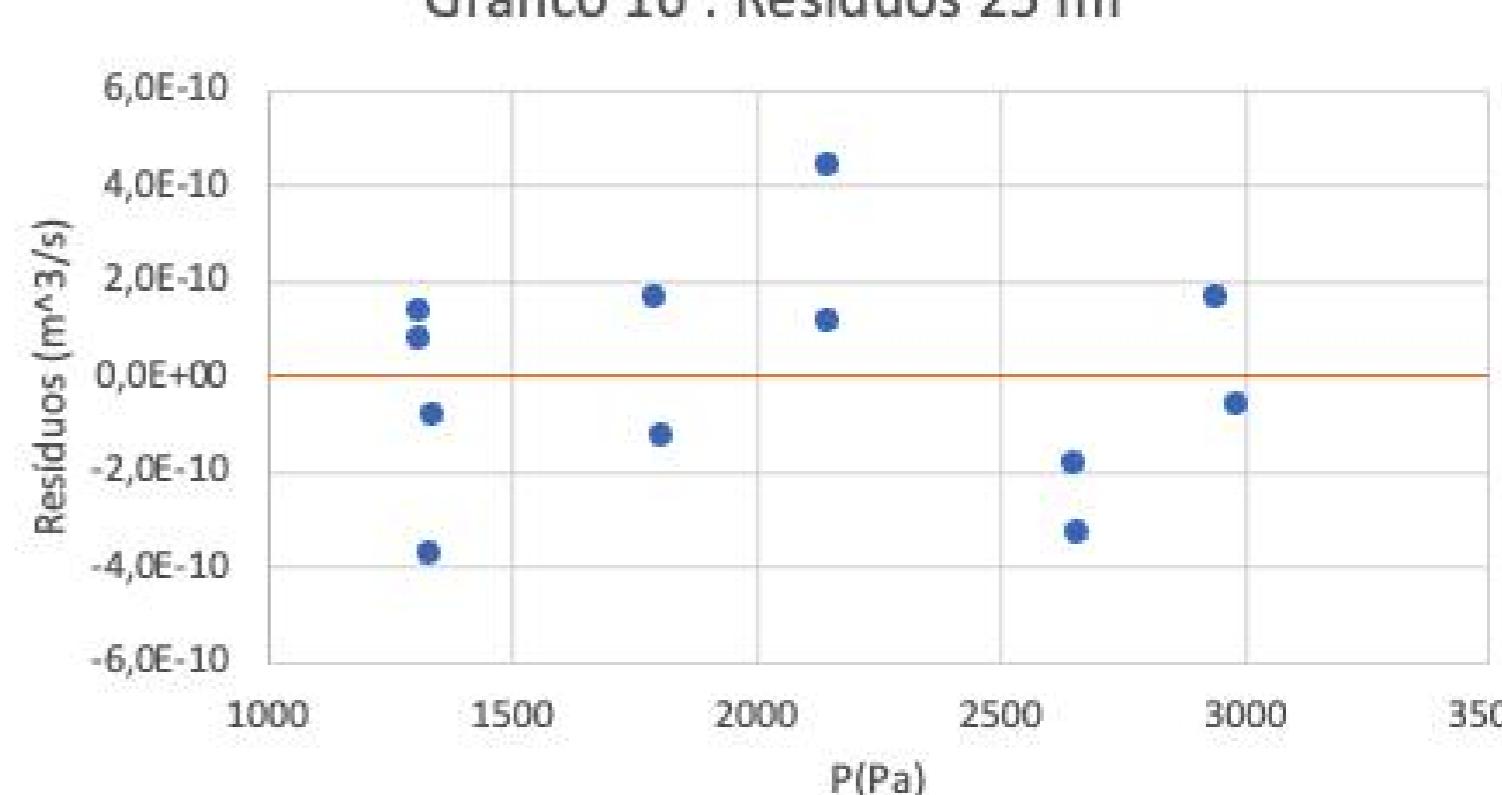


Tabela 5 - Matriz de ajuste linear 25 ml

m	2,94E-11	0	b
s_m	1E-13	2E-10	s_b
r^2	0,99985	2E-10	s_y

Em todos os gráficos b não tem nenhum algarismo significativo na ordem de grandeza maior que s_b , o que é bom pois b deveria ser zero. Todos apresentam $r^2 \geq 1$ mas verifica-se que os resíduos da gama dos 5 ml são significativamente maiores que as outras gama. Devido também ao que foi observado no gráfico 1

decidiu-se retirar a gama dos 5ml à gama usada para o cálculo de η . Esta maior dispersão para 5ml advém de mais gotas salpicaram nessa gama, e também de Vsalpicado ser maior para menores volumes totais.

O ponto correspondente à vermelho da grafico 11 também foi retirado.

Nota-se também que os resíduos parecem aleatórios mas a sua forma é semelhante para as diferentes gamas. Isto acontece pois P e Q permanecem quase constantes para cada ensaio.

temperatura //

Cálculo de η

de P e Q

Calculou-se as médias V com os pontos dos ensaios com altura da saída de água igual.

Ensaios	Tabela 9					
	Q médio	$u(Q \text{ médio})$	P médio	$u(P \text{ médio})$	Ajuste	Resíduos
1,1 e 1,2	8,81E-08	1E-09	2960	47,69	8,80E-08	7,91E-11
2,1 e 2,2	5,61E-08	9E-10	1876	4,42	5,59E-08	1,88E-10
3,1 e 3,3	3,93E-08	6E-10	1311		3,92E-08	1,24E-10
4,1 e 4,2	5,35E-08	5E-10	1794	14,63	5,35E-08	1,68E-11
5,1 e 5,2	7,86E-08	1E-09	2648	8,11	7,88E-08	-1,79E-10
6,1 e 6,2	3,96E-08	6E-10	1333	4,89	3,98E-08	-2,28E-10

Tabela 10 - Matriz de ajuste linear final			
m	2,96E-11	3E-10	b
s_m	1E-13	3E-10	s_b
r^2	0,99993	2E-10	s_y

$u(P_{\text{mídia}})$ e $u(Q_{\text{mídia}})$ correspondem ao dobro do desvio padrão de cada amostra.

Gráfico 17 : Ajuste linear final

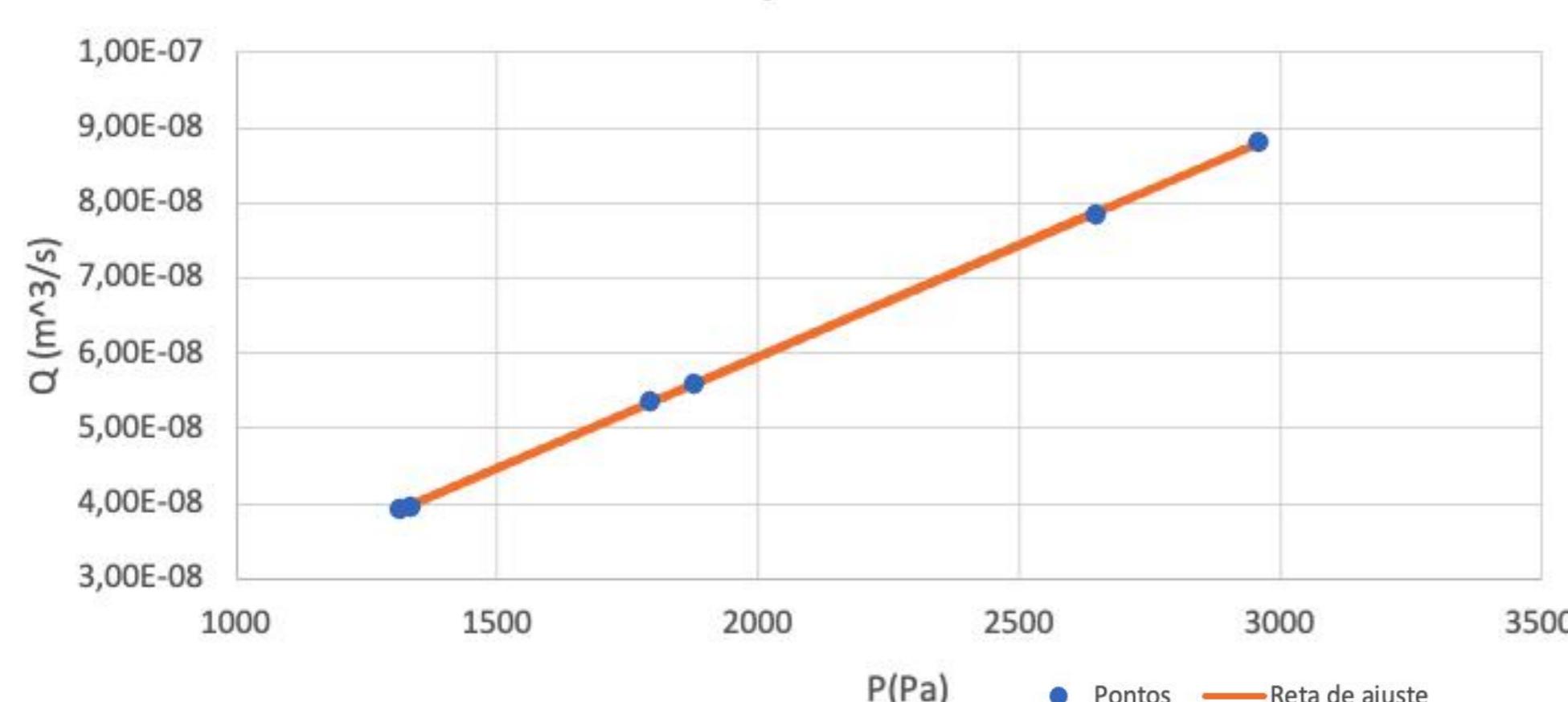
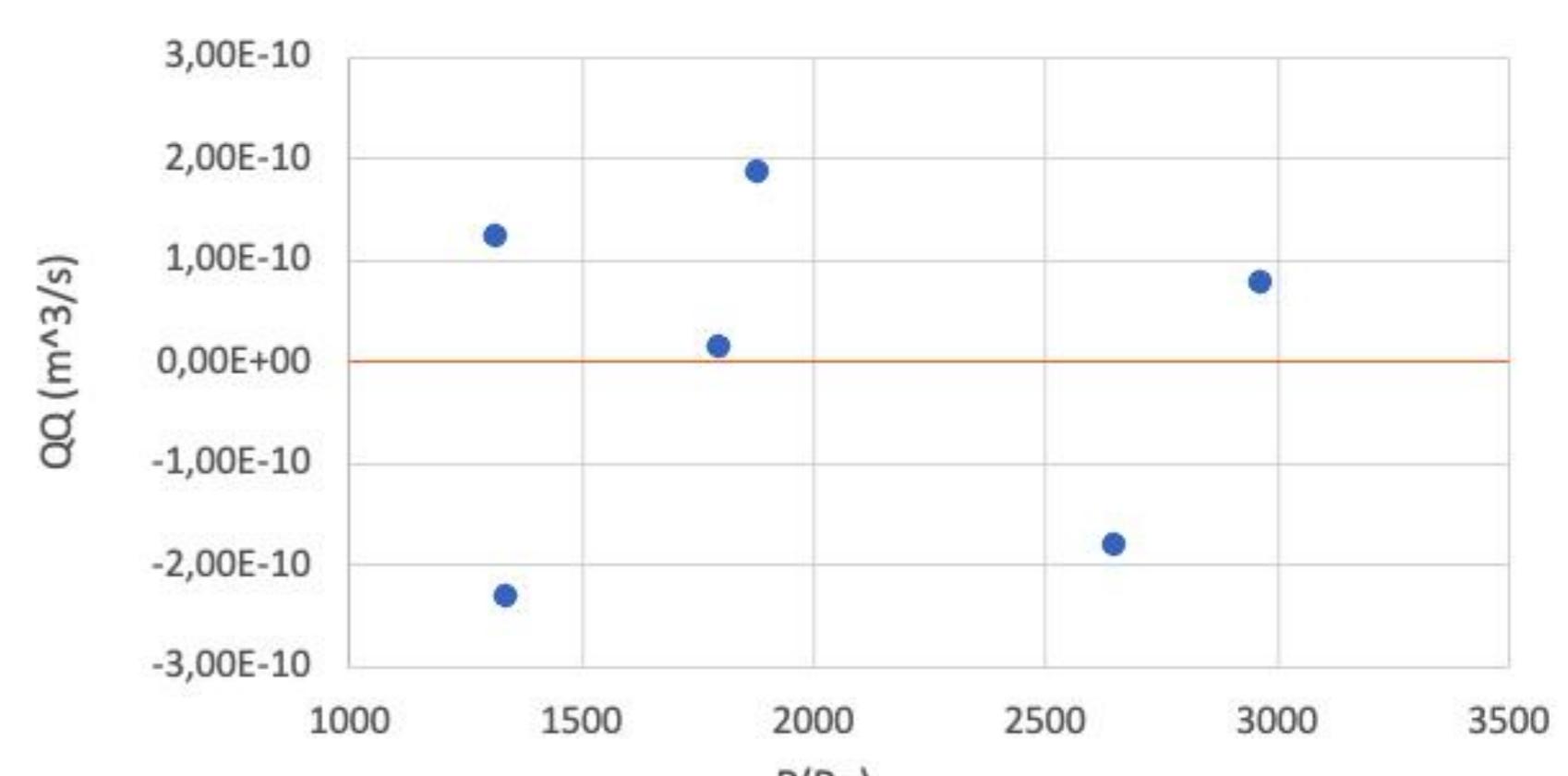


Gráfico 18 : Resíduos



Observa-se um r^2 extremamente próximo de zero o que conforma a relação linear entre as grandezas. $b = s_b$ o que é bom pois a ordenada na origem deveria ser 0. Os resíduos parecem ser aleatórios. As barras de incerteza não estão nos resíduos pois são quase 1 ordem de grandeza maiores que o valor absoluto dos resíduos

comentário?... dedução?

Agora temos tudo para o cálculo de η :

$$Q = mP \Rightarrow m = \frac{\pi R^4}{\eta 8l} \Rightarrow \eta = \frac{\pi R^4}{m 8l}$$

$$u(\eta) = \sqrt{\left(\frac{\pi R^3 u(R)}{m 2l}\right)^2 + \left(\frac{\pi R^4 u(l)}{m 8l^2}\right)^2 + \left(\frac{\pi R^4 u(m)}{m^2 8l}\right)^2}$$

Onde detemos: $\% \text{ inc?}$

Resultados finais			
η (Pa*s)	$u(\eta)$ (Pa*s)	Valor teórico ($T=23$)	Erro (%)
1,00E-03	2E-05	9,00E-04	11,46
		9,32E-04	7,62%

No intervalo de temperaturas observado, erro relativo $[6,60; 9,63]\%$

Conclusão

OK!

Demonstrou-se a lei de Poisuelle pois foi observada uma ótima linearidade ($r^2 \approx 1$) nos gráficos Q em função de P .

Determinou-se o coeficiente de viscosidade $\eta = (1,00 \times 10^{-3} \pm 2 \times 10^{-5}) \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Obteve-se uma incerteza relativa muito baixa igual a 2% e um erro entre $[6,60; 9,63]\%$. Esta discrepância é provocada por um erro sistemático que também foi notado na primeira parte da análise.