

# Estudo experimental da radiação térmica

Antônio Cunha / 202108238 / PL 5

13.5

Oobjetivo: - Apreciação qualitativa da emissividade de vários materiais

- Verificação da lei de Stefan - Boltzmann

Fórmulas:  $V_s = \epsilon \sigma T^4$        $P = \epsilon \sigma T^4$

Execução experimental: A experiência tem duas partes:

1 - Cubo de Leslie

2 - Verificação da lei de Stefan - Boltzmann

1 - Cubo de Leslie

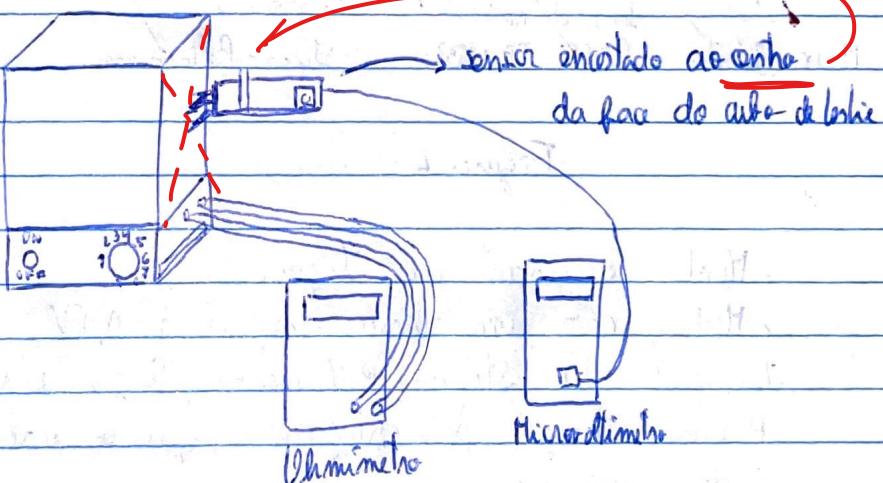


Figura 1

- Montar o arranjo da figura 1.
- Medir e registrar a radiação ambiente,  $R_{amb}$ , com o sensor afastado das fontes de calor do trabalho.
- Ligar o ohmímetro nos terminais do termômetro do cubo de Leslie e iniciar o seu aquecimento utilizando a potência máxima, HIGH.
- Vigiar os valores de resistência do termômetro até esta atingir cerca de 40kΩ. Ajustar então o controle da fonte para a potência 5.

Entando jú o tubo em equilíbrio térmico com o exterior (temperatura estabelecida), para essa potência (posição 5 na alimentação), efetuam medições em aquecimento e até ao máximo que conseguem, da radiação emitida pelas diferentes faces, encostando as pontas do sensor sensivelmente ao centro de cada face.

Nota: As medições em 4 faces, à mesma temperatura, devem ser executadas o mais rápido possível.

## 2 - Lei de Stefan-Boltzmann

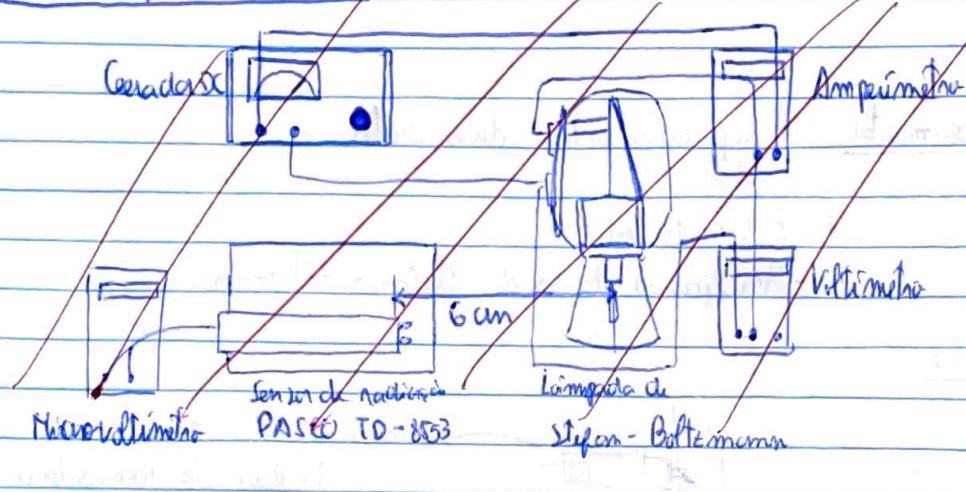


Figura 2

• Montar o circuito da figura 2

- Habil, com uma tensão inferior a 0,1 V, a resistência da Lâmpada de Stefan Boltzmann, R<sub>abm</sub>, e registre esse valor. Havendo tempo, pode certificarse que o valor que se determina é de confiança.
- Converim nisso parcer de 12V, para a tensão máxima que a lâmpada aguenta é 13V.
- Alinhou-se o sensor ~~de radiação~~ ~~está~~ ~~atentado~~ com o centro do filamento da lâmpada, ajusto a altura do sensor no suporte.

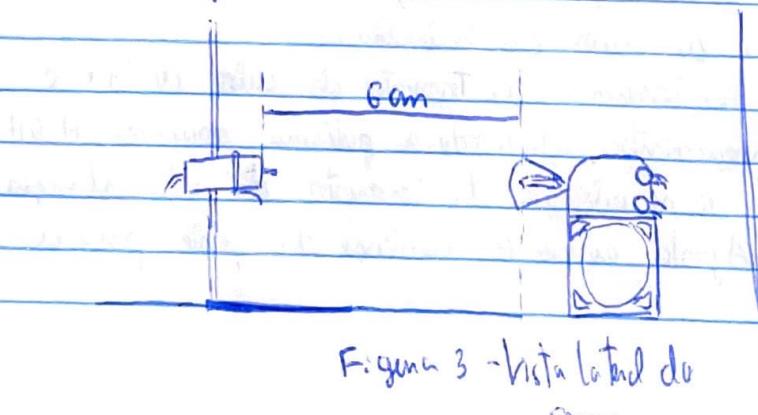


Figura 3 - Vista lateral do sensor

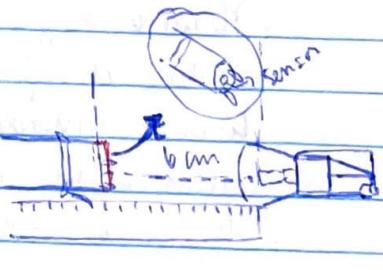


Figura 4 - Vista frontal do tipo do sensor

Retirou-se trío de valores ( $V$ ,  $I$ ,  $V_s$ ), onde  $I$  e  $V$  são obtidos no circuito da lampada e  $V_s$  é lido no micro-voltímetro ligado ao sensor. A gama experimental será entre 1V e 12V e a experiência deve ser feita tanto em aquecimento como em enfriamento.

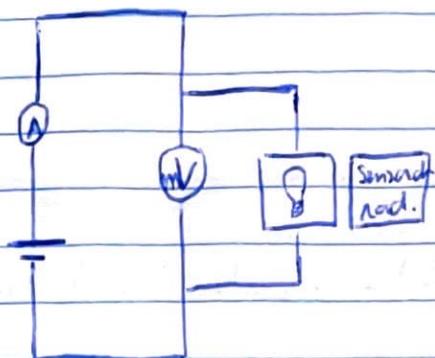


Figura 5 - Circuito elétrico para a comparação de Stefan-Boltzmann

$\mu L S \propto T^4$   
 $\propto T^4$   
 $B$

### Análise de dados

#### 1- Gráfico de Leslie

Durante a execução da experiência foram retirados os seguintes dados experimentais:

Posição do alimentador	Temperatura						
	$R_i$ ( $\Omega$ )	$\Delta R_i$ ( $\Omega$ )	$R$ ( $\Omega$ )	$\Delta R$ ( $\Omega$ )	$T$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	$T^4$ ( $K^4$ )
5	10,79	0,01	9,81	0,01	197,7643	0,0005	4,92E+10
5,5	9,82	0,01	8,84	0,01	197,8123	0,0005	4,92E+10
6	9,81	0,01	8,83	0,01	197,8128	0,0005	4,92E+10
6,5	6,30	0,01	5,32	0,01	197,9869	0,0005	4,93E+10
7	7,77	0,01	6,79	0,01	197,9139	0,0005	4,92E+10
7,5	4,37	0,01	3,39	0,01	198,0827	0,0005	4,93E+10
8	5,14	0,01	4,16	0,01	198,0444	0,0005	4,93E+10
8,5	3,90	0,01	2,92	0,01	198,106	0,0005	4,93E+10

Tabela 1 (1<sup>a</sup> parte) - Registo da temperatura

Vs (V), para face							
preta	u(preta)	branca	u(branca)	baça	u(baça)	metalizada	u(metalizada)
5,724	0,001	5,485	0,001	2,063	0,001	0,591	0,001
6,214	0,001	6,157	0,001	2,193	0,001	0,628	0,001
5,657	0,001	5,565	0,001	1,935	0,001	0,465	0,001
8,020	0,001	7,795	0,001	2,642	0,001	0,503	0,001
7,175	0,001	7,134	0,001	2,379	0,001	0,691	0,001
10,864	0,001	10,693	0,001	3,819	0,001	1,048	0,001
9,205	0,001	9,056	0,001	3,267	0,001	0,968	0,001
11,848	0,001	11,627	0,001	4,147	0,001	1,257	0,001

Tabela 2 (2º ponto) - Registo  $V_s(V)$  para cada face.

Pedimos fater então o gráfico de  $V_s$  em função de  $T^4$ .

Cubo de Leslie

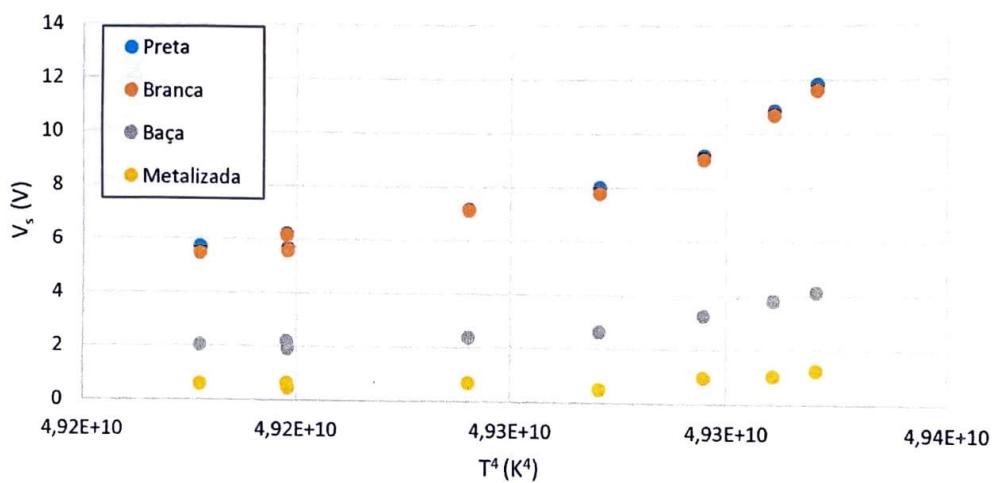


Gráfico 1 -  $V_s$  em função de  $T^4$

Matriz de ajuste - Preta

$m$	4,1E-08	-1990	$b$
$\sigma_m$	5E-09	233	$\sigma_b$
$r^2$	0,92	0,7	$s_y$

Matriz de ajuste - Branca

$m$	4,0E-08	-1967	$b$
$\sigma_m$	5E-09	226	$\sigma_b$
$r^2$	0,93	0,7	$s_y$

Tabela 3 - Matriz de ajuste (face preta)

Tabela 4 - Matriz de ajuste (face branca)

Matriz de ajuste - Metalizada

$m$	4E-09	-206	$b$
$\sigma_m$	1E-09	60	$\sigma_b$
$r^2$	0,7	0,2	$s_y$

Matriz de ajuste - Baça

$m$	1,4E-08	-693	$b$
$\sigma_m$	2E-09	103	$\sigma_b$
$r^2$	0,9	0,3	$s_y$

Tabela 5 - Matriz de ajuste (face metalizada)

Tabela 6 - Matriz de ajuste (face baça)

$V_s$ preta (V) - aj.	Resíduos	$V_s$ branca (V) - aj.	Resíduos	$V_s$ baça (V) - aj.	Resíduos	$V_s$ metalizada (V) - aj.	Resíduos
5,10	6,23E-01	4,986	0,499	1,766	0,297	0,460	0,131
5,92	2,99E-01	5,791	0,366	2,049	0,144	0,544	0,084
5,92	-2,67E-01	5,799	-0,234	2,052	-0,117	0,545	-0,080
8,88	-8,55E-01	8,717	-0,922	3,080	-0,438	0,850	-0,347
7,64	-4,63E-01	7,494	-0,360	2,649	-0,270	0,722	-0,031
10,50	3,62E-01	10,325	0,368	3,646	0,173	1,018	0,030
9,85	-6,48E-01	9,683	-0,627	3,420	-0,153	0,951	0,017
10,90	9,49E-01	10,717	0,910	3,784	0,363	1,059	0,198

Tabela 4 - Dados usados para traçar o gráfico da projeção linear

Recomendo usar tabelas de matrizes de ajuste e à Tabela 3 traçar-se o seguinte gráfico:

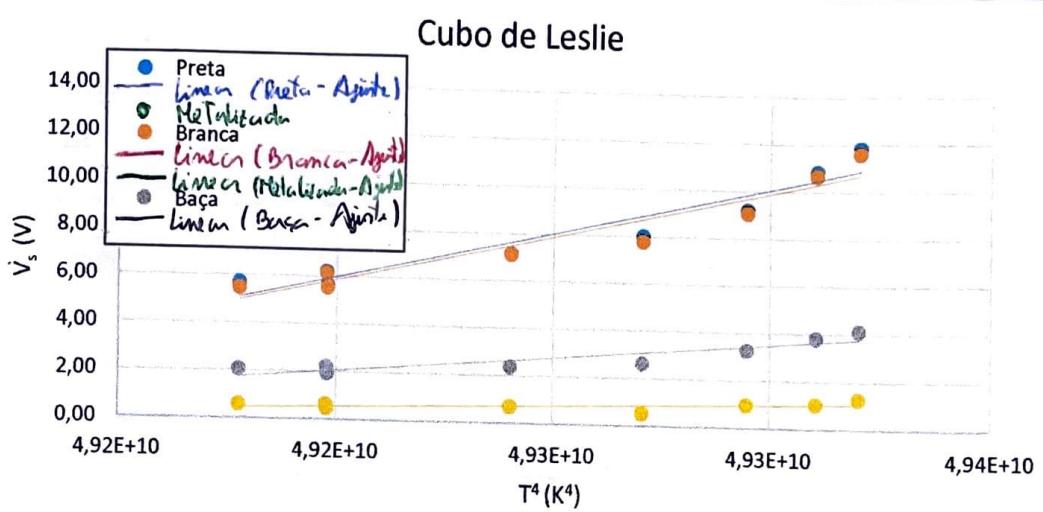
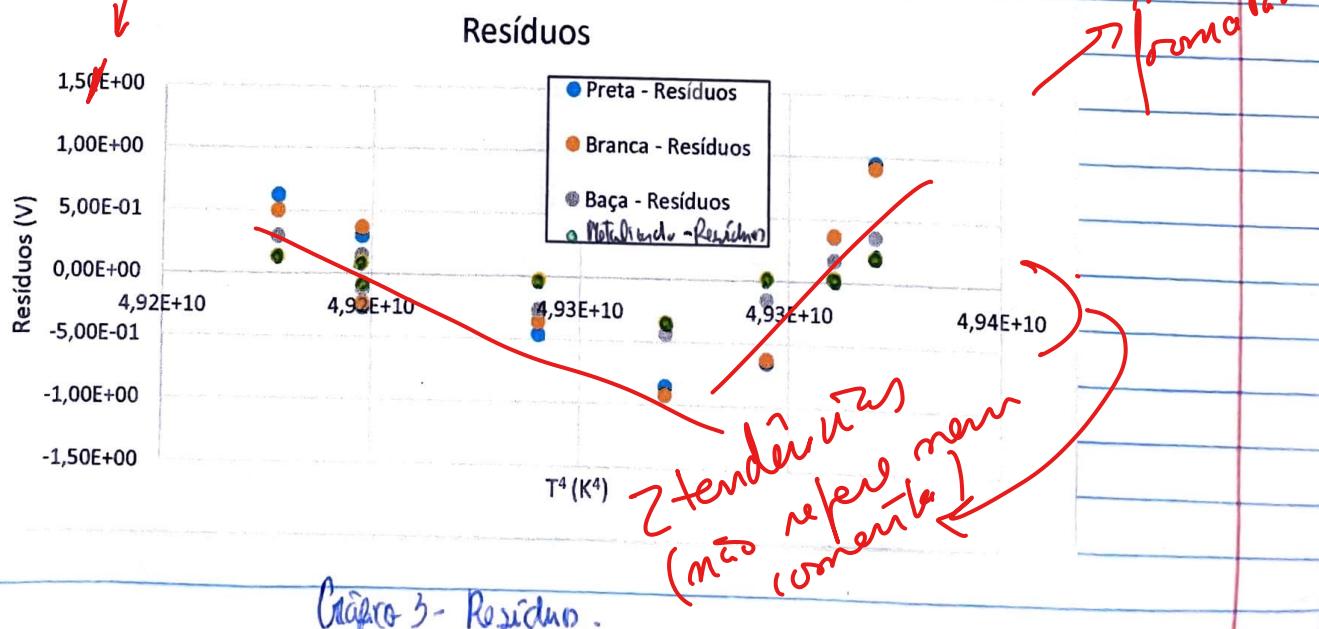


Gráfico 2 - Gráfico das projeções lineares das diferentes faces.



Considerando a emissividade da face plana 1, podemos calcular a emissividade das outras faces:

$$\epsilon_{\text{plan}} = 1,0$$

$$\epsilon_{\text{cromática}} = \underline{0,98858}$$

$$\epsilon_{\text{base}} = \underline{0,34805634}$$

$$\epsilon_{\text{metálica}} = \underline{0,10329758}$$

! dispersante  
de n. de  
alg. signif!

Com os valores das emissividades podemos dizer que

$$\text{uma vez que } V_s \propto T^4 \Rightarrow V_s \propto \epsilon T^4 \Rightarrow V_s = \epsilon T^4 \cdot c$$

em que  $c$ :

$$c = \frac{k_b}{\epsilon} \text{ ou } c = \frac{6,19 \times 10^{-13}}{\epsilon T^4},$$

Podemos então calcular a área do sensor:

$$\text{então } \frac{c}{\sigma} = \frac{6,19 \times 10^{-13}}{5,67 \times 10^{-8}} = 1,09 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 1,09 \times 10^{-1} \text{ cm}^2$$

constante de Stefan-Boltzmann

→ n.º é constante mas não é constante da temperatura mas sim de B / exp

## L- lei de Stefan - Boltzmann

Para a execução desta segunda parte da experiência foram utilizados os seguintes dados do processo de aquecimento:

V (V)	$\Delta V$ (V)	I (A)	$\Delta I$ (A)	$V_s$ ( $\mu$ V)	$\Delta V_s$ ( $\mu$ V)	$V_s$ (V)	$\Delta V_s$ (V)	R (Ω)	$\Delta R$ (Ω)	R/Ramb	$\Delta R/Ramb$	T (K)	$\Delta T$ (K)	$T^4$ (K $^4$ )	$\Delta T^4$ (K $^4$ )	P (W)	$\Delta P$ (W)	Padrão (W)	Resíduos (W)	$T^4$ ajuste (K $^4$ )	Resíduos (K $^4$ )
2,597	0,001	0,85	0,01	0,167	0,001	1,67E-07	1E-09	3,06	0,04	3,11	0,04	743	7	3,0E+11	1E+10	2,21	0,04	2,48	-0,27	3,1E-11	-6,6E-10
3,001	0,001	0,90	0,01	0,463	0,001	4,63E-07	1E-09	3,33	0,04	3,39	0,04	798	7	4,0E+11	1E+10	2,70	0,04	2,97	-0,27	4,2E-11	-1,8E-10
3,529	0,001	0,97	0,01	0,795	0,001	7,95E-07	1E-09	3,64	0,04	3,70	0,04	857	7	5,4E+11	2E+10	3,42	0,04	3,53	-0,10	5,5E-11	-8,0E-10
4,06	0,01	1,03	0,01	1,249	0,001	1,249E-06	1E-09	3,94	0,04	4,01	0,04	916	8	7,0E+11	2E+10	4,18	0,04	4,28	-0,10	7,2E+11	-1,4E+10
4,55	0,01	1,09	0,01	1,691	0,001	1,691E-06	1E-09	4,17	0,04	4,75	0,04	961	8	8,5E+11	3E+10	4,96	0,04	5,07	-0,06	8,8E-11	-3,7E-10
4,96	0,01	1,13	0,01	2,029	0,001	2,029E-06	1E-09	4,39	0,04	4,47	0,04	1002	8	1,0E+12	3E+10	5,60	0,04	5,59	0,02	1,0E-12	-2,6E-09
5,38	0,01	1,18	0,01	2,446	0,001	2,446E-06	1E-09	4,56	0,04	4,64	0,04	1034	8	1,14E+12	3E+10	6,35	0,04	6,28	0,07	1,17E+12	-2,17E+10
6,04	0,01	1,24	0,01	3,065	0,001	3,065E-06	1E-09	4,87	0,04	4,96	0,04	1094	8	1,43E+12	4E+10	7,49	0,04	7,31	0,18	1,40E+12	3,27E+10
6,64	0,01	1,30	0,01	3,689	0,001	3,689E-06	1E-09	5,11	0,04	5,20	0,04	1139	8	1,68E+12	4E+10	8,63	0,04	8,35	0,28	1,63E+12	4,86E+10
7,14	0,01	1,35	0,01	4,276	0,001	4,276E-06	1E-09	5,29	0,04	5,38	0,04	1173	7	1,89E+12	5E+10	9,64	0,04	9,33	0,31	1,85E+12	4,00E+10
7,57	0,01	1,39	0,01	4,752	0,001	4,752E-06	1E-09	5,45	0,04	5,54	0,04	1203	7	2,09E+12	5E+10	10,52	0,04	10,13	0,40	2,03E+12	6,01E+10
8,01	0,01	1,43	0,01	5,319	0,001	5,319E-06	1E-09	5,60	0,04	5,70	0,04	1232	7	2,30E+12	6E+10	11,45	0,04	11,41	0,05	2,32E+12	-1,70E+10
8,74	0,01	1,49	0,01	6,467	0,001	6,467E-06	1E-09	5,87	0,04	5,97	0,04	1281	7	2,70E+12	6E+10	13,02	0,04	12,99	0,04	2,68E+12	2,04E+10
9,06	0,01	1,52	0,01	6,925	0,001	6,925E-06	1E-09	5,96	0,04	6,06	0,04	1299	7	2,85E+12	6E+10	13,77	0,04	13,75	0,02	2,85E+12	5,04E+09
9,24	0,01	1,54	0,01	7,309	0,001	7,309E-06	1E-09	6,00	0,04	6,10	0,04	1306	7	2,91E+12	7E+10	14,23	0,04	14,39	-0,16	2,99E+12	-7,85E+10
9,56	0,01	1,57	0,01	7,755	0,001	7,755E-06	1E-09	6,15	0,04	6,26	0,04	1335	7	3,10E+12	7E+10	15,17	0,04	15,13	0,03	3,16E+12	1,63E+10
10,12	0,01	1,61	0,01	8,461	0,001	8,461E-06	1E-09	6,29	0,04	6,39	0,04	1360	7	3,42E+12	7E+10	16,29	0,04	16,31	-0,02	3,42E+12	-7,34E+09
10,40	0,01	1,63	0,01	8,903	0,001	8,903E-06	1E-09	6,38	0,04	6,49	0,04	1377	7	3,60E+12	8E+10	16,95	0,04	17,05	-0,10	3,59E+12	6,52E+09
10,71	0,01	1,66	0,01	9,345	0,001	9,345E-06	1E-09	6,45	0,04	6,56	0,04	1390	7	3,74E+12	8E+10	17,78	0,04	17,79	-0,01	3,76E+12	-1,93E+10
11,01	0,01	1,68	0,01	9,757	0,001	9,757E-06	1E-09	6,55	0,04	6,67	0,04	1409	7	3,94E+12	8E+10	18,50	0,04	18,47	0,02	3,91E+12	3,23E+10
11,19	0,01	1,70	0,01	10,143	0,001	1,0143E-05	1E-09	6,58	0,04	6,70	0,04	1414	7	4,00E+12	8E+10	19,07	0,04	19,12	-0,09	4,05E+12	-5,78E+10
11,74	0,01	1,74	0,01	10,929	0,001	1,0929E-05	1E-09	6,75	0,04	6,86	0,04	1445	7	4,36E+12	9E+10	20,43	0,04	20,43	0,00	4,35E+12	6,94E+09
11,93	0,01	1,75	0,01	11,324	0,001	1,1324E-05	1E-09	6,82	0,04	6,94	0,04	1458	7	4,51E+12	9E+10	20,88	0,04	21,09	-0,21	4,50E+12	1,60E+10

Tabela 8 - Dados refinados do aquecimento (1<sup>o</sup> part)

log (V <sub>s</sub> )	log(T)	$\Delta \log (V_s)$	$\Delta \log (T)$	log (T) aj 1	Resíduos log (T) 1
-6,777	2,871	0,006	0,009	2,830	-0,041
-6,334	2,902	0,002	0,009	2,906	0,004
-6,100	2,933	0,001	0,008	2,946	0,013
-5,9034	2,962	0,0008	0,008	2,980	0,018
-5,7719	2,983	0,0006	0,008	3,003	0,020
-5,6927	3,001	0,0005	0,008	3,016	0,015
-5,6115	3,015	0,0004	0,007	3,030	0,015
-5,5136	3,039	0,0003	0,007	3,047	0,008
-5,4331	3,056	0,0003	0,007	3,061	0,004
-5,3690	3,069	0,0002	0,006	3,072	0,003
-5,3231	3,080	0,0002	0,006	3,080	0,000
-5,2581	3,091	0,0002	0,006	3,091	0,000
-5,1893	3,108	0,0002	0,006	3,103	-0,005
-5,1596	3,114	0,0001	0,006	3,108	-0,006
-5,1361	3,116	0,0001	0,006	3,112	-0,004
-5,1104	3,125	0,0001	0,005	3,116	-0,009
-5,0726	3,133	0,0001	0,005	3,123	-0,011
-5,0505	3,139	0,0001	0,005	3,127	-0,012
-5,0294	3,143	0,0001	0,005	3,130	-0,013
-5,0107	3,149	0,0001	0,005	3,133	-0,015
-4,9938	3,151	0,0001	0,005	3,136	-0,014
-4,9614	3,160	0,0001	0,005	3,142	-0,018
-4,9460	3,164	0,0001	0,005	3,145	-0,019

Tabela 9 - Dados refinados obtidos de processamento de aquecimento (2<sup>o</sup> part)

V (V)	$\Delta V$ (V)	I (A)	$\Delta I$ (A)
0,1245	0,0001	0,22	0,01
0,2784	0,0001	0,38	0,01
0,3731	0,0001	0,43	0,01
0,583	0,001	0,51	0,01
0,762	0,001	0,56	0,01
0,939	0,001	0,60	0,01
0,519	0,001	0,49	0,01
0,207	0,001	0,31	0,01

Tabela 10 - Dados utilizados para obter o gráfico de Ramo

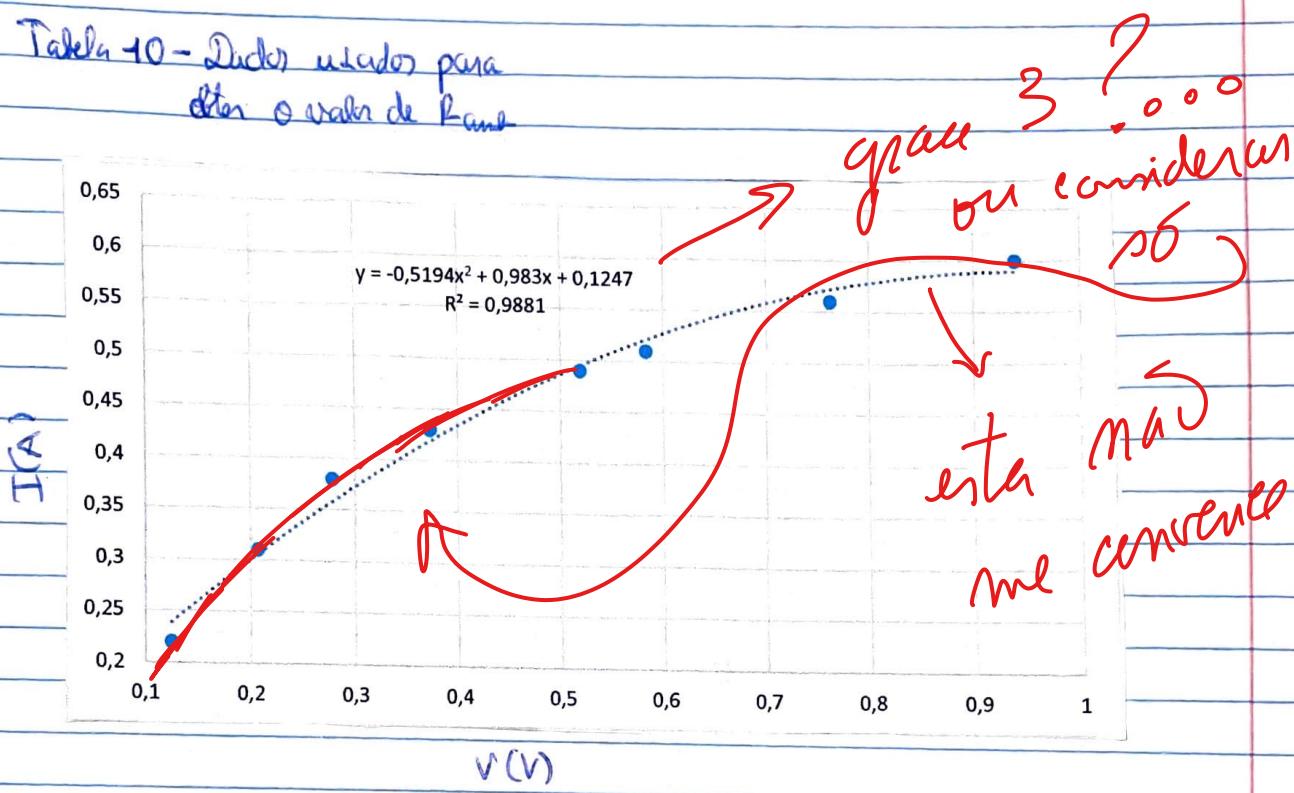


Gráfico 4 - Gráfico de  $I$  (A) em função de  $V$  (V)

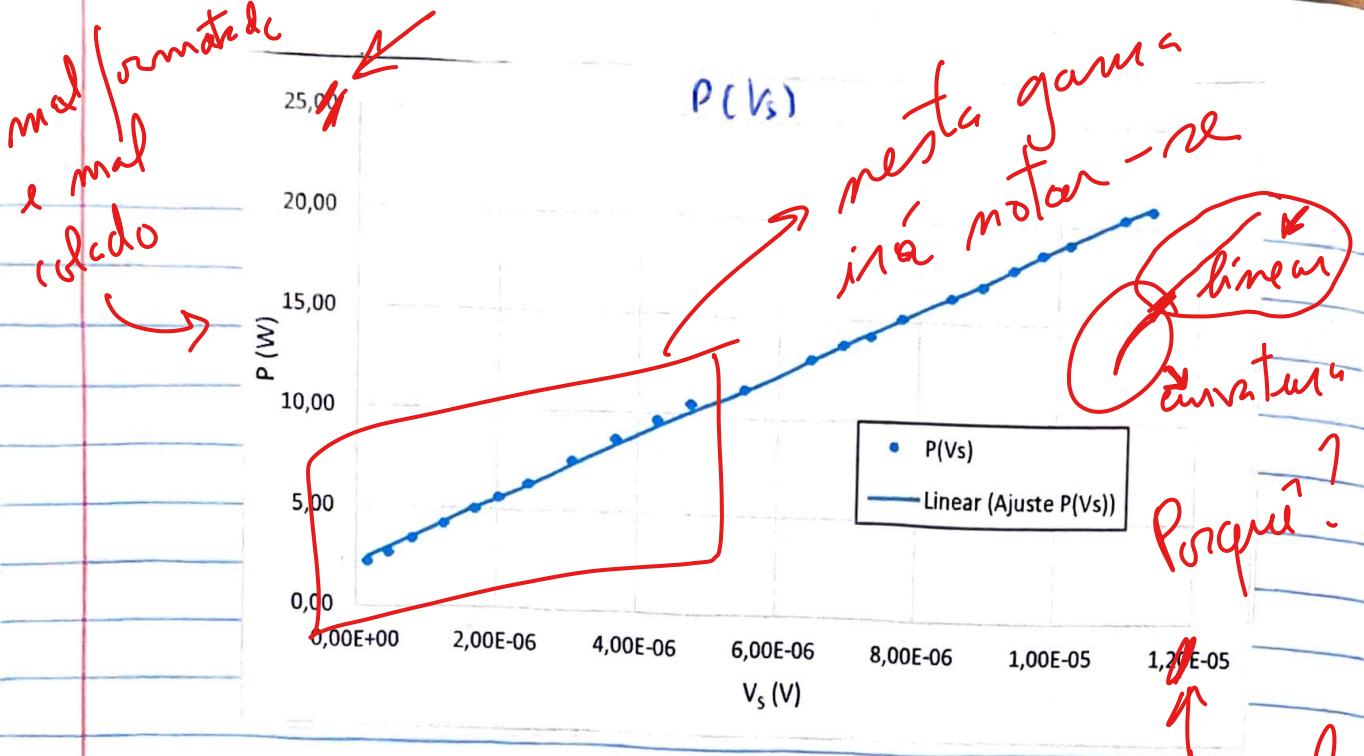
$$y'(1) = -1,0388x + 0,983$$

$$y'(0) = 0,983 = R_{\text{Ramo}}$$

$$R_{\text{Ramo}} = 0,983$$

$$U(R_{\text{Ramo}}) = 0,001$$

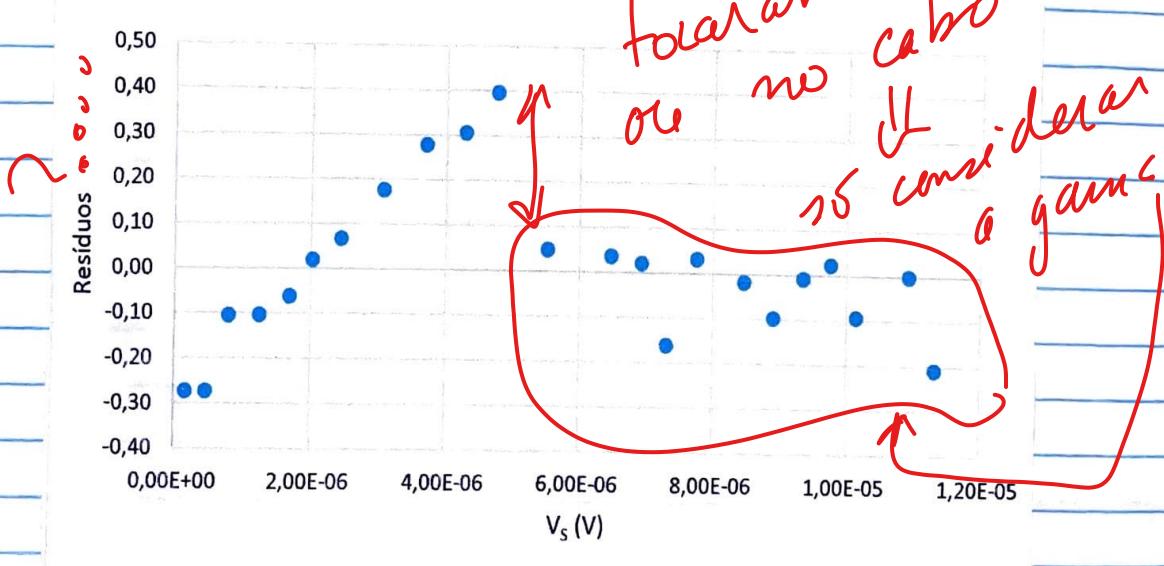
Poderímos agora com os dados obtidos traçar os circuitos lineares da  $P(V_s)$  e  $T^{14}(V_s)$  e os respetivos gráficos da resistência.



(Gráfico 5 -  $P(W)$  em função de  $V_s(V)$ )  
(ajuste linear)

Matriz de ajuste - $P(V_s)$		
$m$	1,67	$b$
$\sigma_m$	0,01	$\sigma_b$
$r^2$	0,9992	$s_y$

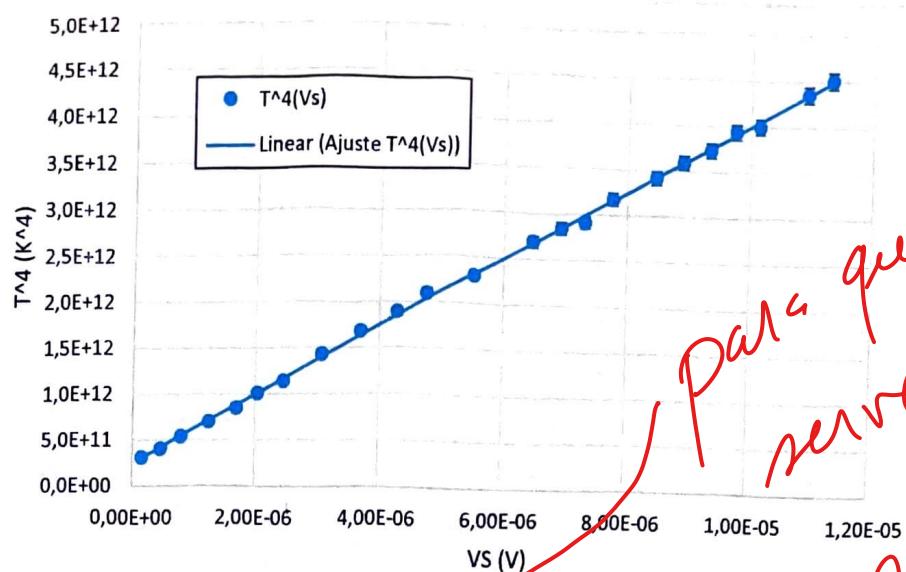
Tabela 14 - Matriz de ajuste  $P(V_s)$



(Gráfico 6 - Resíduos)

Sabe, porque?

$T^4(V_s)$



Para que serve esta analise?

Gráfico 57 -  $T^4(K^4)$  em função de  $V_s(V)$   
(ajuste linear)

Matriz de ajuste - $T^4(V_s)$		
$m$	3,75E+11	$2,5E+11$
$\sigma_m$	3E+09	$1E+10$
$r^2$	0,9992	$3E+10$

Tabela 12 - Matriz de ajuste  $T^4(V_s)$

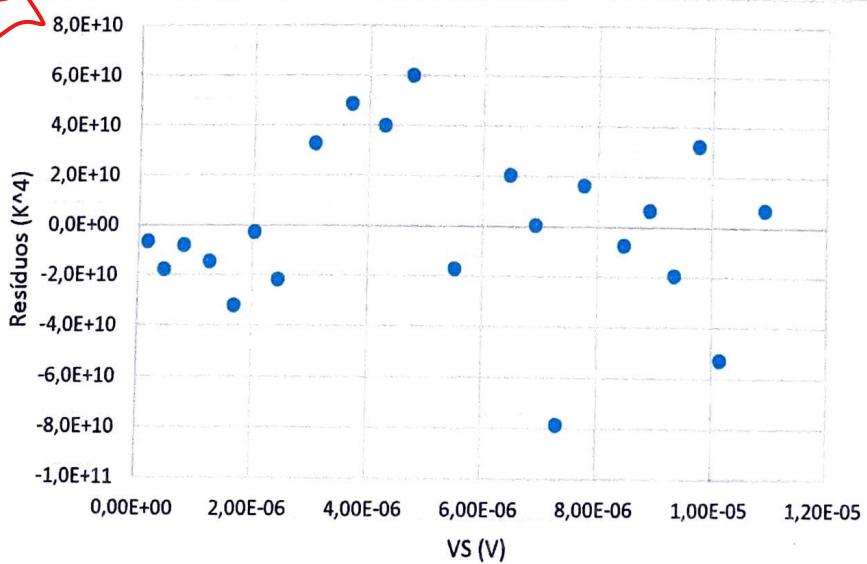
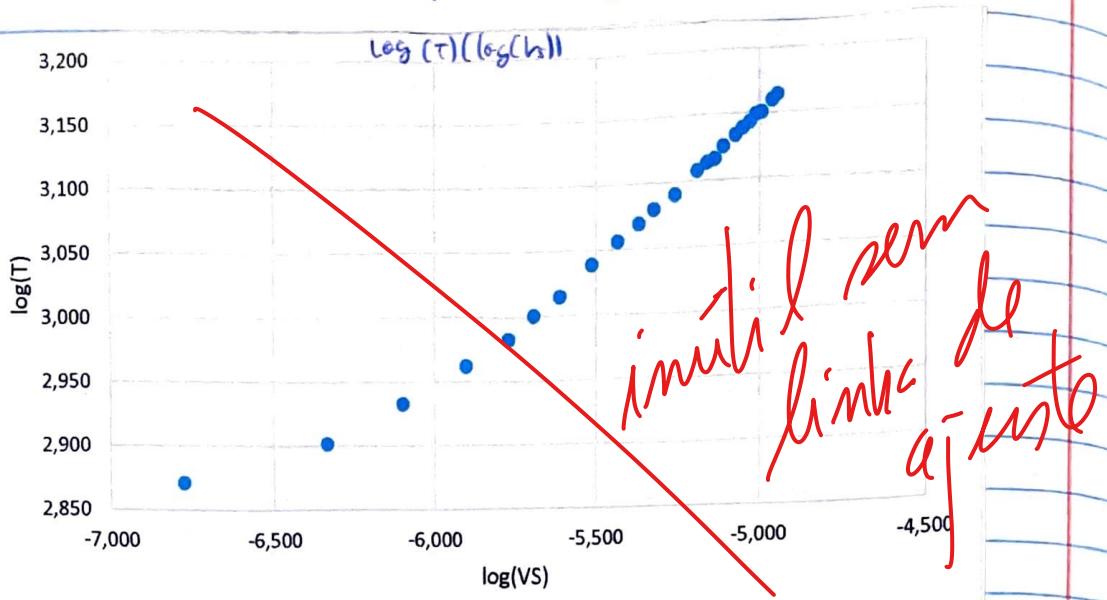


Gráfico 8 - Resíduos

Decidiu-se escolher a temperatura para o eixo "y", devido à sua elevada ordem de grandeza comparativamente aos dados de  $V_s$  (V).

Procedendo à construção do gráfico  $\log(T)$  ( $\log(V_s)$ ):



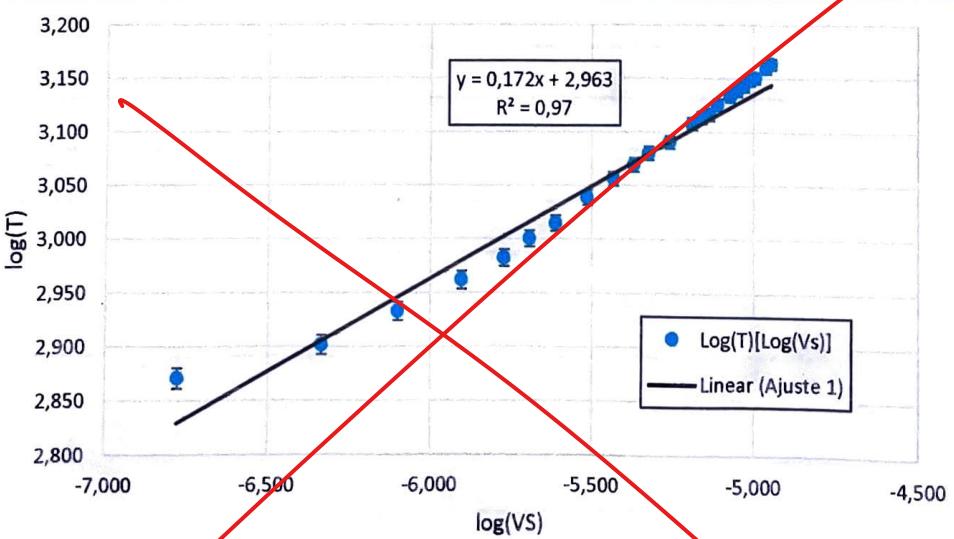
(Gráfico 09 -  $\log(T)$  em função de  $\log(V_s)$  (1))

Matriz de ajuste (1) - $\log(T)$ ( $\log(V_s)$ )		
$m$	0,172	$b$
$\sigma_m$	0,007	$\sigma_b$
$r^2$	0,97	$s_y$

Tabela 13 - Matriz de ajuste (1) -  $\log(T)$  ( $\log(V_s)$ )

Tracando assim o ajuste linear:

Projecção linear (1)



(Gráfico 10 - Ajuste linear (1) [  $\log(T)$  [ $\log(V_s)$ ]])

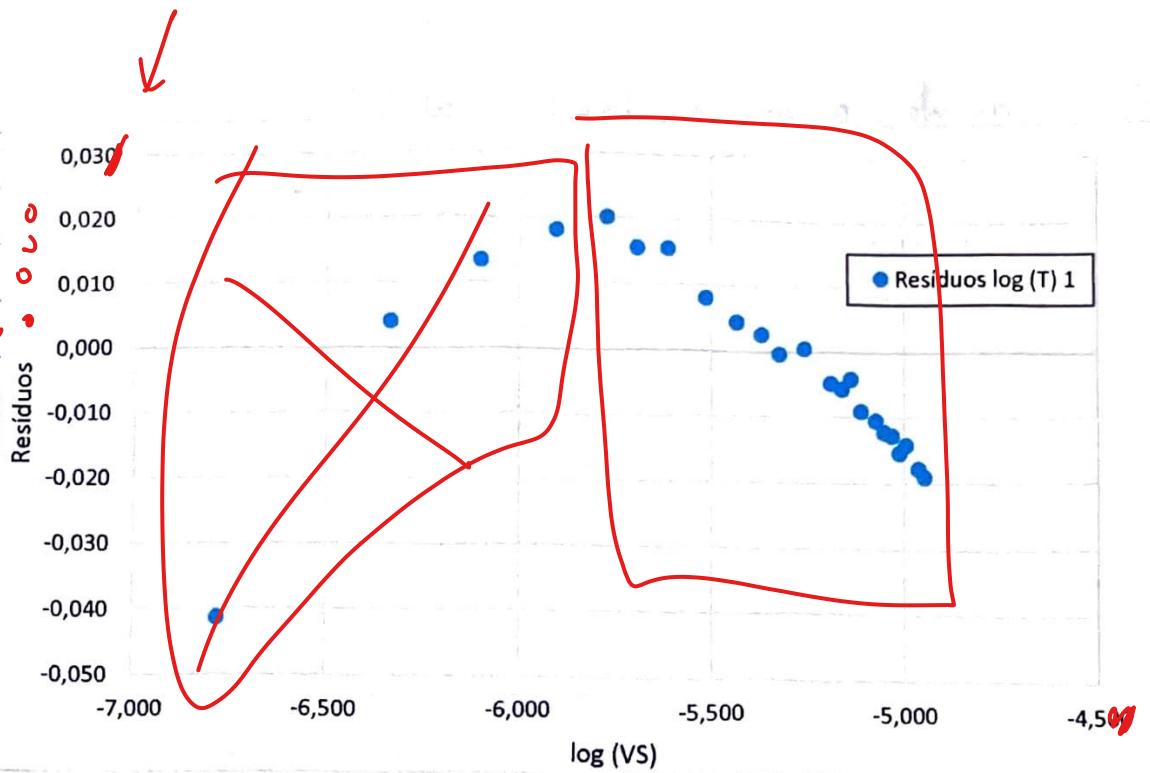


Gráfico 1st Resíduos (1)

Após observação do gráfico de resíduos decidir-se retiran pontos, diminuindo a gama experimental:

$\log (V_s)$	$\log (T) \text{ a}j\ 2$	$\Delta \log (V_s)$	$\Delta \log (T)$	Resíduos $\log (T) 2$	$\log (T) \text{ a}j\ 3$	$\Delta \log (T)$	Resíduos $\log (T) 3$
-5,1893	3,106	0,0002	0,006	-0,001	3,1174	0,006	0,0013
-5,1596	3,113	0,0001	0,006	0,000	3,1238	0,005	-0,0016
-5,1361	3,119	0,0001	0,006	0,003	3,1332	0,005	-0,0001
-5,1104	3,125	0,0001	0,005	-0,001	3,1388	0,005	-0,0002
-5,0726	3,134	0,0001	0,005	0,000	3,1440	0,005	0,0009
-5,0505	3,139	0,0001	0,005	0,000	3,1487	0,005	-0,0002
-5,0294	3,144	0,0001	0,005	0,001			
-5,0107	3,148	0,0001	0,005	-0,001			

Tabela 14 - Gama de dados experimentais  
escollidos para voltar a traçar o gráfico  $\log (T) (\log (V_s))$

Bom

Fazendo meramente o gráfico  $\log(T)/\log(V_s)$

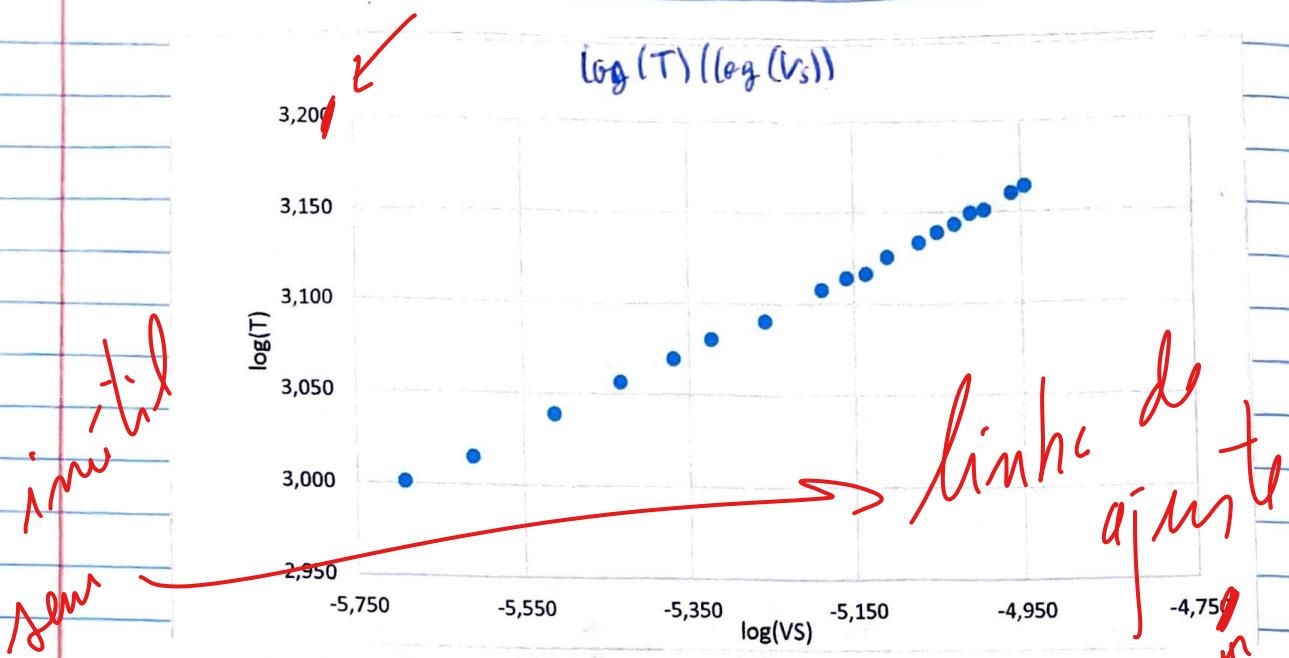


Gráfico 12 -  $\log(T)$  em função de  $\log(V_s)$  (2)

Matriz de ajuste (2) - $\log(T)/\log(V_s)$		
$m$	0,233	$4,317 \pm b$
$\sigma_m$	0,008	$0,040 \pm \sigma_b$
$R^2$	0,993	$0,001 \pm \sigma_y$

Tabela 15 - Matriz de ajuste (2) -  $\log(T)/\log(V_s)$

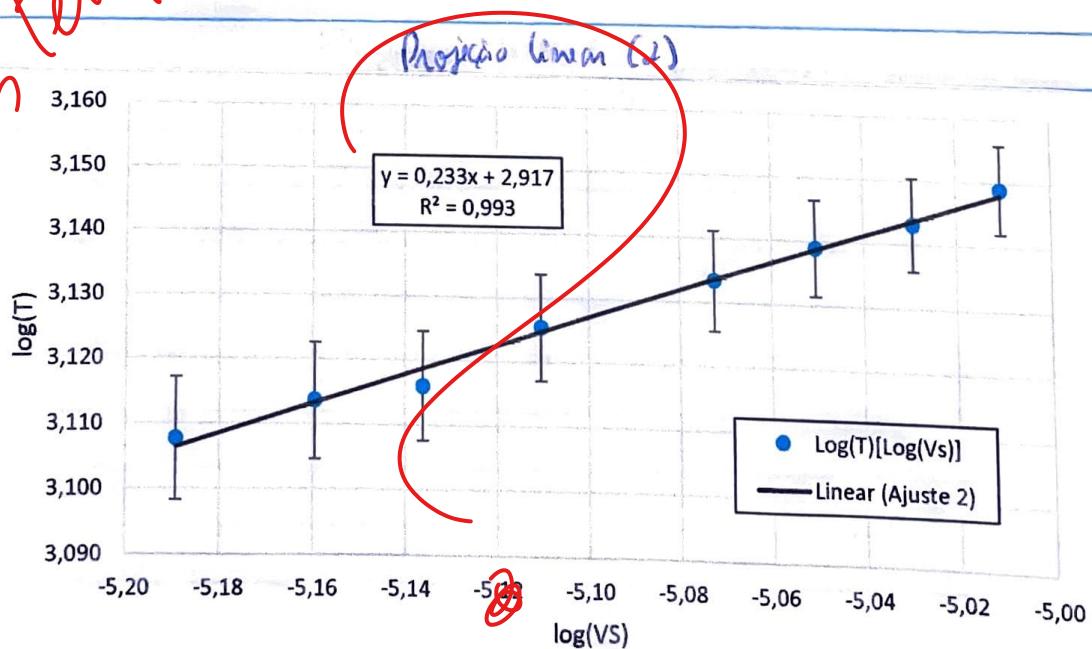
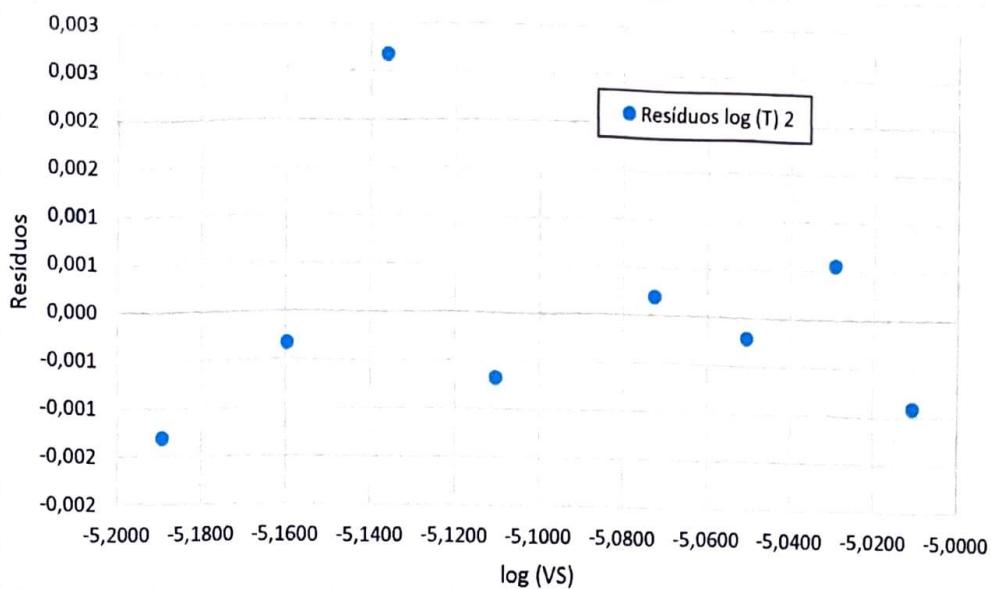


Gráfico 13 - Ajuste linear (2) ( $\log(T)/\log(V_s)$ )



Observando o gráfico novo de resíduos conseguimos obter que estes se encontram muito mais dispersos e que o valor de  $\chi^2$  aumentou.

Passando agora ao aquecimento:

V (V)	$\Delta V (V)$	I (A)	$\Delta I (A)$	$V_s (\mu V)$	$\Delta V_s (\mu V)$	$V_t (V)$	$\Delta V_t (V)$	R (Ω)	$\Delta R (Ω)$	R/Ramb	$\Delta R/Ramb$	T (K)	$\Delta T (K)$	$T^{*4} (K^4)$	$\Delta T^{*4} (K^4)$	P (W)	$\Delta P (W)$	Ajuste (W)	Resíduos (W)	$T^{*4}$ ajuste (K $^4$ )	Resíduos (K $^4$ )
11,96	0,01	1,76	0,01	10,76	0,01	1,076E-05		1E-08	6,80	0,04	6,91	0,04	1454	7 4,46E+12	9E+10	21,05	0,04	20,46	0,59	4,33E+12	1,35E+11
11,59	0,01	1,73	0,01	10,38	0,01	1,038E-05		1E-08	6,70	0,04	6,82	0,04	1436	7 4,25E+12	8E+10	20,05	0,04	19,79	0,26	4,18E+12	7,20E+10
11,22	0,01	1,70	0,01	9,98	0,01	9,98E-06		1E-08	6,60	0,04	6,71	0,04	1418	7 4,04E+12	8E+10	19,07	0,04	19,09	-0,02	4,02E+12	1,66E+10
10,98	0,01	1,68	0,01	9,71	0,01	9,71E-06		1E-08	6,54	0,04	6,65	0,04	1406	7 3,91E+12	8E+10	18,45	0,04	18,61	-0,17	3,92E+12	-1,06E+10
10,55	0,01	1,65	0,01	9,15	0,01	9,15E-06		1E-08	6,39	0,04	6,50	0,04	1380	7 3,62E+12	8E+10	17,41	0,04	17,63	-0,22	3,70E+12	-7,33E+10
10,16	0,01	1,61	0,01	8,54	0,01	8,54E-06		1E-08	6,31	0,04	6,42	0,04	1364	7 3,46E+12	7E+10	16,36	0,04	16,55	-0,20	3,46E+12	7,26E+09
9,87	0,01	1,59	0,01	8,17	0,01	8,17E-06		1E-08	6,21	0,04	6,31	0,04	1345	7 3,27E+12	7E+10	15,69	0,04	15,90	-0,21	3,31E+12	-3,71E+10
9,45	0,01	1,56	0,01	7,61	0,01	7,61E-06		1E-08	6,06	0,04	6,16	0,04	1317	7 3,01E+12	7E+10	14,74	0,04	14,92	-0,18	3,09E+12	-7,96E+10
9,25	0,01	1,54	0,01	7,33	0,01	7,33E-06		1E-08	6,01	0,04	6,11	0,04	1308	7 2,92E+12	7E+10	14,25	0,04	14,42	-0,18	2,98E+12	-5,57E+10
8,96	0,01	1,51	0,01	6,89	0,01	6,89E-06		1E-08	5,93	0,04	6,04	0,04	1294	7 2,80E+12	6E+10	13,53	0,04	13,65	-0,12	2,81E+12	-1,88E+09
8,54	0,01	1,48	0,01	6,35	0,01	6,35E-06		1E-08	5,77	0,04	5,87	0,04	1264	7 2,55E+12	6E+10	12,64	0,04	12,70	-0,06	2,59E+12	-4,50E+10
8,21	0,01	1,45	0,01	5,92	0,01	5,92E-06		1E-08	5,66	0,04	5,76	0,04	1243	7 2,39E+12	6E+10	11,90	0,04	11,94	-0,04	2,42E+12	-3,54E+10
7,85	0,01	1,42	0,01	5,45	0,01	5,45E-06		1E-08	5,52	0,04	5,62	0,04	1218	7 2,04E+12	5E+10	11,15	0,04	11,12	0,03	2,24E+12	-3,78E+10
7,17	0,01	1,35	0,01	4,58	0,01	4,58E-06		1E-08	5,31	0,04	5,40	0,04	1177	8 1,92E+12	5E+10	9,68	0,04	9,58	0,10	1,90E+12	2,36E+10
6,58	0,01	1,30	0,01	3,91	0,01	3,91E-06		1E-08	5,06	0,04	5,15	0,04	1130	7 1,63E+12	4E+10	8,55	0,04	8,41	0,15	1,63E+12	-2,66E+09
6,01	0,01	1,24	0,01	3,26	0,01	3,26E-06		1E-08	4,85	0,04	4,93	0,04	1089	8 1,41E+12	4E+10	7,45	0,04	7,26	0,19	1,38E+12	3,02E+10
5,55	0,01	1,19	0,01	2,83	0,01	2,83E-06		1E-08	4,66	0,04	4,74	0,04	1054	8 1,24E+12	4E+10	6,60	0,04	6,50	0,10	1,21E+12	2,78E+10
4,61	0,01	1,09	0,01	1,97	0,01	1,97E-06		1E-08	4,23	0,04	4,30	0,04	971	8 8,9E+11	3E+10	5,02	0,04	4,99	0,03	8,77E+11	2,01E+10
3,84	0,01	1,00	0,01	1,28	0,01	1,28E-06		1E-08	3,84	0,04	3,91	0,04	896	8 6,4E+11	2E+10	3,84	0,04	3,78	0,06	6,04E+11	4,6E+10
3,212	0,001	0,93	0,01	0,76	0,01	7,60E-07		1E-08	3,45	0,04	3,51	0,04	821	7 4,5E+11	2E+10	2,99	0,04	2,86	0,13	3,97E+11	6,1E+10
2,631	0,001	0,85	0,01	0,42	0,01	4,20E-07		1E-08	3,10	0,04	3,15	0,04	751	7 3,2E+11	1E+10	2,24	0,04	2,26	-0,03	2,67E+11	5,8E+10
1,997	0,001	0,75	0,01	0,113	0,001	1,13E-07		1E-09	2,66	0,04	2,71	0,04	666	7 1,96E+11	8E+09	1,50	0,04	1,72	-0,22	1,39E+11	5,77E+10

Tabela 15 - Dados retirados do processo de aquecimento  
(1<sup>ª</sup> parte)

$(V_s)$	$\log(T)$	$\Delta \log(V_s)$	$\Delta \log(T)$	$\log(T)$ aj1	Residuos $\log(T)$ 1
-4,9682	3,162	0,0009	0,005	3,157	-0,006
-4,984	3,157	0,001	0,005	3,153	-0,004
-5,001	3,152	0,001	0,005	3,149	-0,002
-5,013	3,148	0,001	0,005	3,146	-0,002
-5,039	3,140	0,001	0,005	3,141	0,001
-5,069	3,135	0,001	0,005	3,134	-0,001
-5,088	3,129	0,001	0,005	3,129	0,001
-5,119	3,120	0,001	0,006	3,122	0,003
-5,135	3,116	0,001	0,006	3,118	0,002
-5,162	3,112	0,001	0,006	3,112	0,000
-5,197	3,102	0,002	0,006	3,104	0,003
-5,228	3,095	0,002	0,006	3,097	0,003
-5,264	3,086	0,002	0,006	3,089	0,003
-5,339	3,071	0,002	0,006	3,072	0,001
-5,408	3,053	0,003	0,007	3,056	0,003
-5,487	3,037	0,003	0,007	3,038	0,001
-5,548	3,023	0,004	0,007	3,024	0,001
-5,706	2,987	0,005	0,008	2,988	0,001
-5,893	2,952	0,008	0,009	2,945	-0,007
-6,12	2,914	0,01	0,009	2,894	-0,021
-6,38	2,876	0,02	0,009	2,835	-0,041
-6,947	2,82	0,009	0,01	2,705	-0,119

Tabla 16-7 - Dados retirados através de processos de aquecimento (2º ponto)

Poderemos agrupar com os dados obtidos traçar em ajustes lineares de  $P(V_s)$  e  $T^{1/4}(V_s)$  e os respetivos gráficos de resíduos.

$P(V_s)$

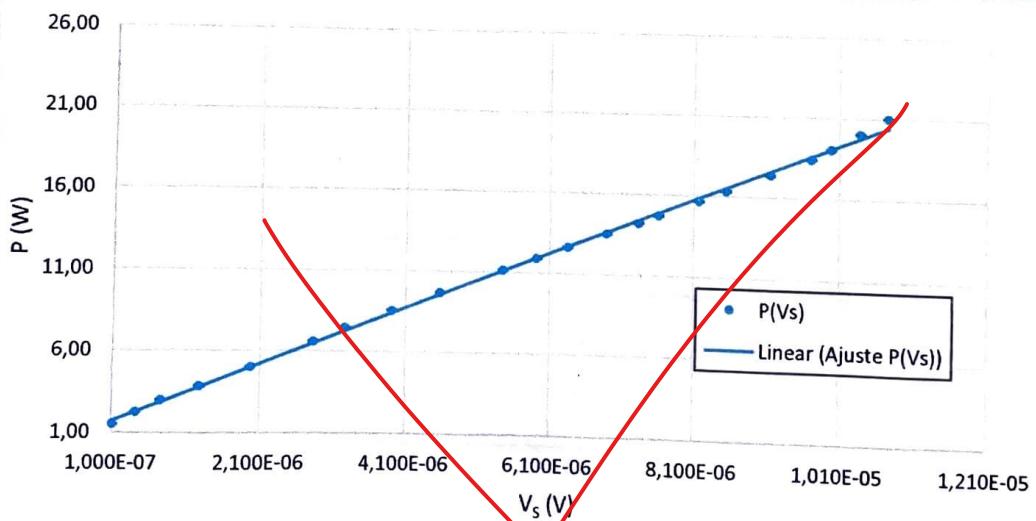


Gráfico 15 -  $P(W)$  em função de  $V_s(V)$   
(ajuste linear)

Matriz de ajuste - $P(V_s)$		
$m$	1,76	$1,52 b$
$\sigma_m$	0,01	$0,08 \sigma_b$
$r^2$	0,9990	$0,2  sy $

Tabela 18 - Matriz de ajuste  $P(V_s)$

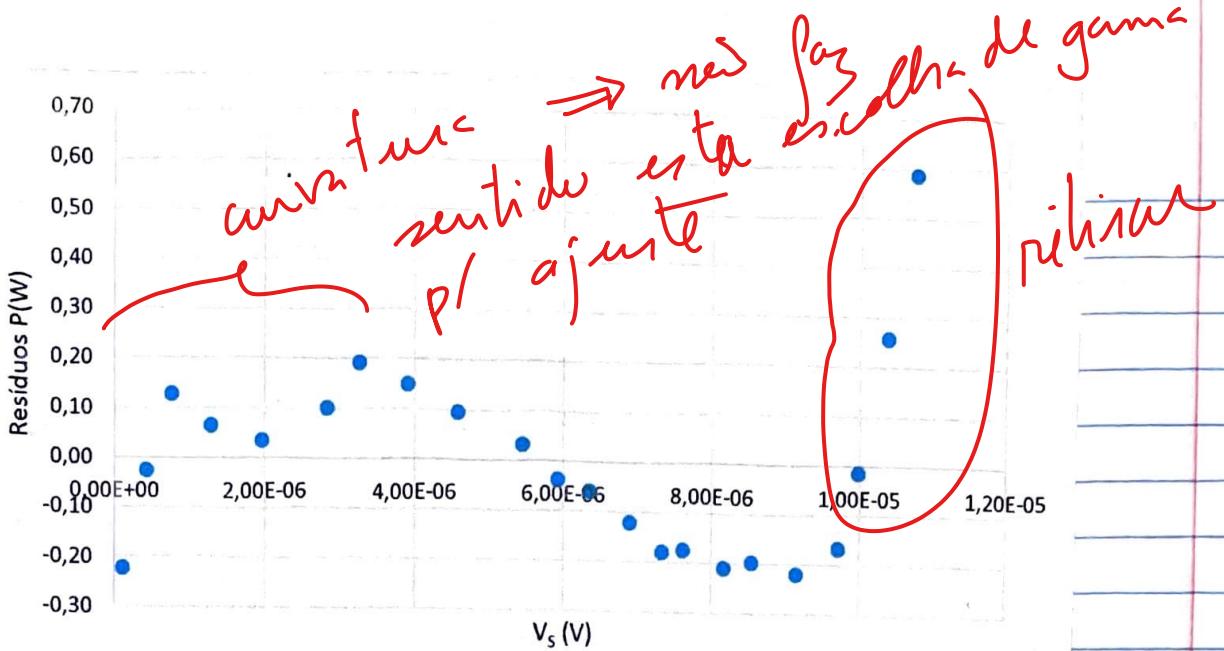


Gráfico 16- Resíduos

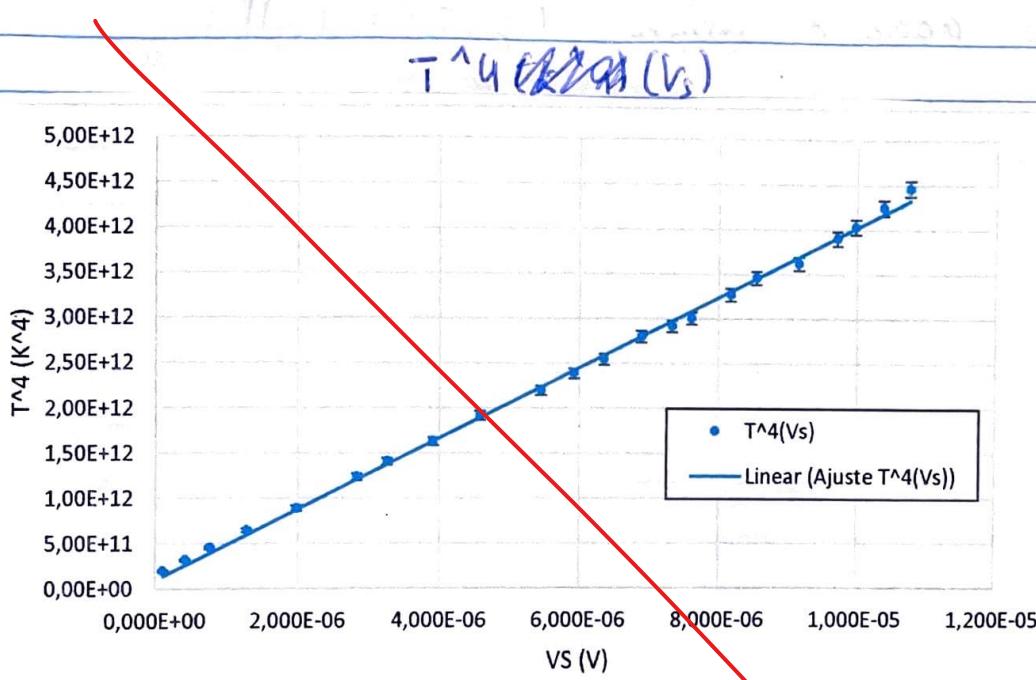


Gráfico 16-7-  $T^4 (h^4)$  em função de  $V_s (V)$   
Cajunte linear

Matriz de ajuste - $T^4(V_s)$		
$m$	3,94E+11	$9E+10 b$
$\sigma_m$	4E+09	$3E+10 \sigma_b$
$r^2$	0,998	$5E+10 s_y$

Tabela 19 - Matriz de cajunte  $T^4(V_s)$

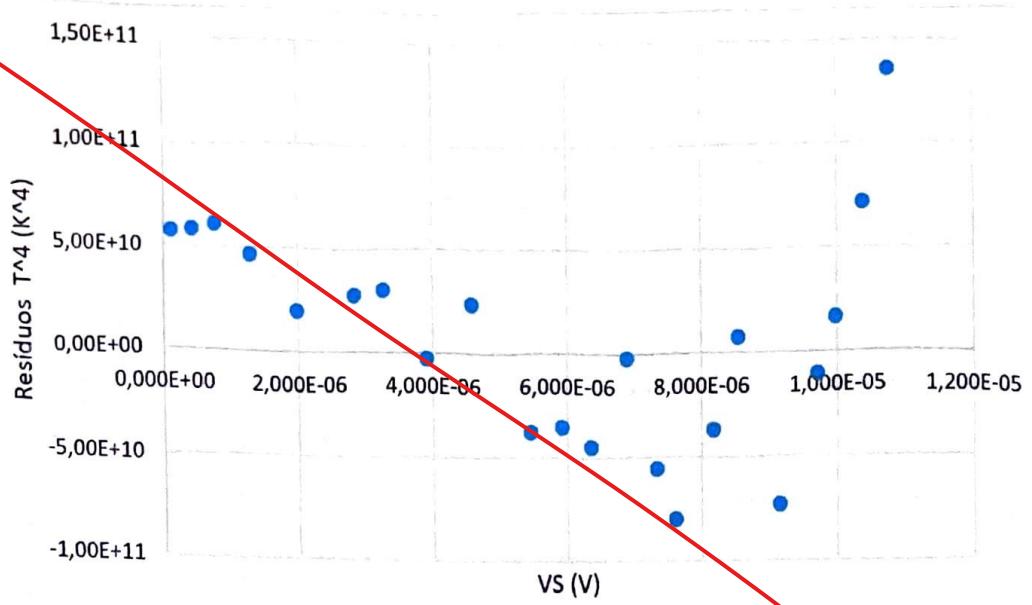


Gráfico 18 - Resíduos

Fazendo agora o gráfico  $\log(T) / (\log(V_s))$ :

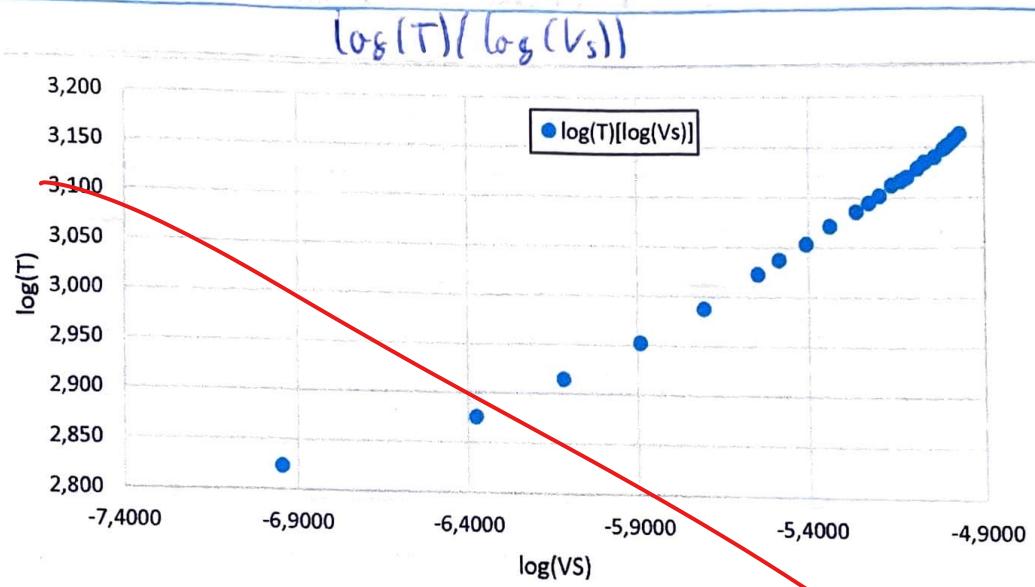


Gráfico 19 -  $\log(T)^e$  em função de  $\log(V_s)$

Matriz de ajuste (1) - $\log(T) / (\log(V_s))$		
$m$	0,228	$b$
$\sigma_m$	0,003	$\sigma_b$
$r^2$	0,997	$s_y$

Tabela 10 - Matriz de ajuste (1)  $\log(T) / (\log(V_s))$

### Projeto linear 1

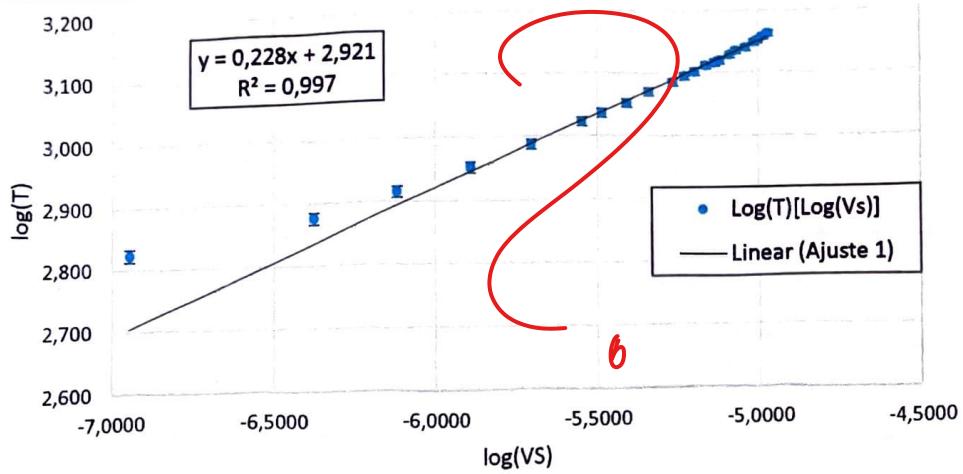


Gráfico 20- Ajuste linear (1)  $\log(T) \times (\log(V_s))$

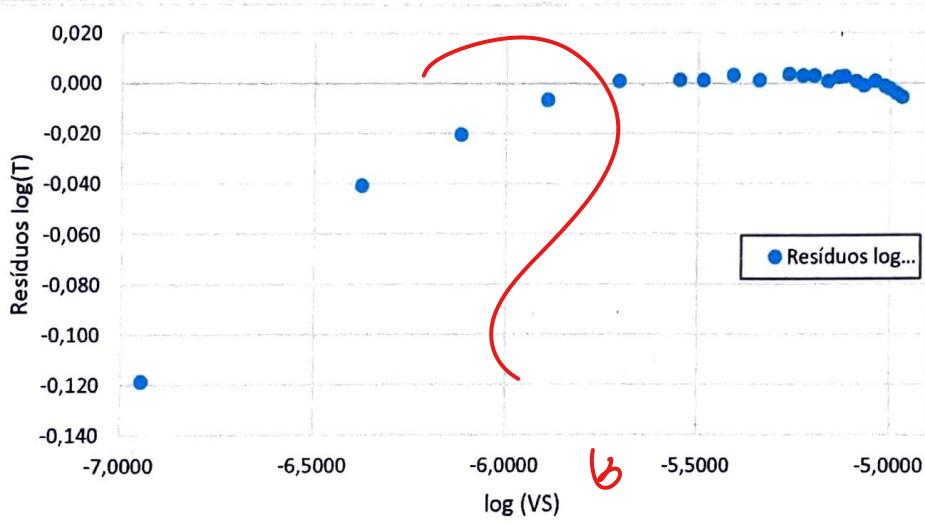


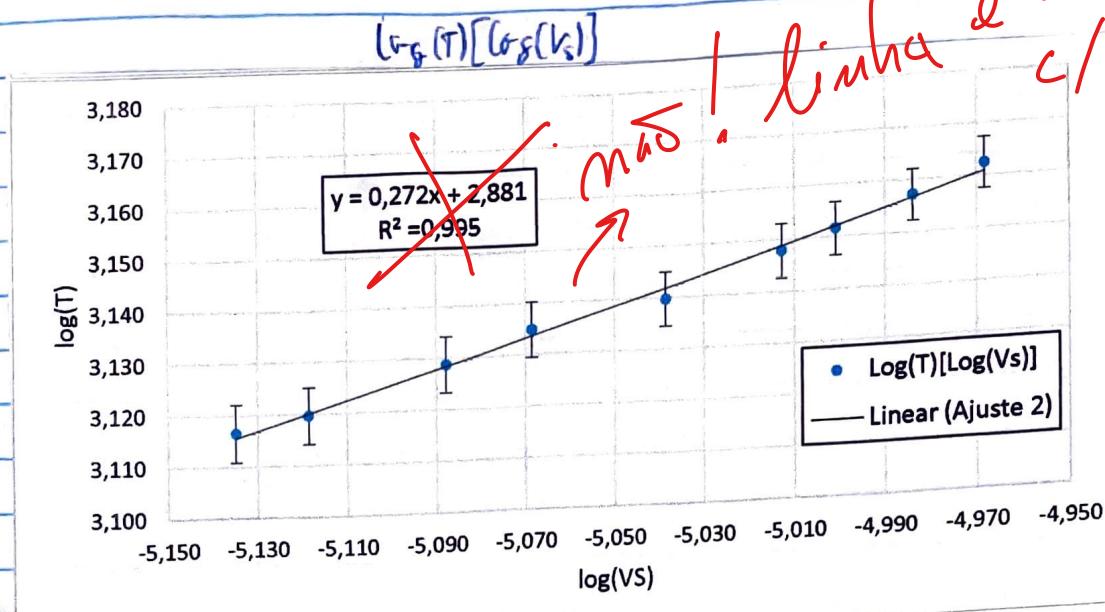
Gráfico 20.1-Resíduos 1

Após observar o gráfico de resíduos, podemos ver que este apresenta uma tendência, por isso decidim voltar-se a fazer os gráficos com uma diminuição da gama ~~experimental~~ de dados experimentais.

$\log(V_s)$	$\log(T)$ aj2	$\Delta \log(V_s)$	$\Delta \log(T)$	Resíduos $\log(T)$ 2
-4,9682	3,161	0,0009	0,005	-0,001
-4,984	3,157	0,001	0,005	0,000
-5,001	3,152	0,001	0,005	0,001
-5,013	3,149	0,001	0,005	0,001
-5,039	3,142	0,001	0,005	0,002
-5,069	3,134	0,001	0,005	-0,001
-5,088	3,128	0,001	0,005	0,000
-5,119	3,120	0,001	0,006	0,000
-5,135	3,116	0,001	0,006	-0,001

Tabela dv- Tabela da gama  
de dados experimentais  
escolhida para voltar  
a traçar o gráfico  
 $\log(T) / (\log(V_s))$ .

Fazendo novamente o gráfico  $\log(T)[\log(V_s)]$ :

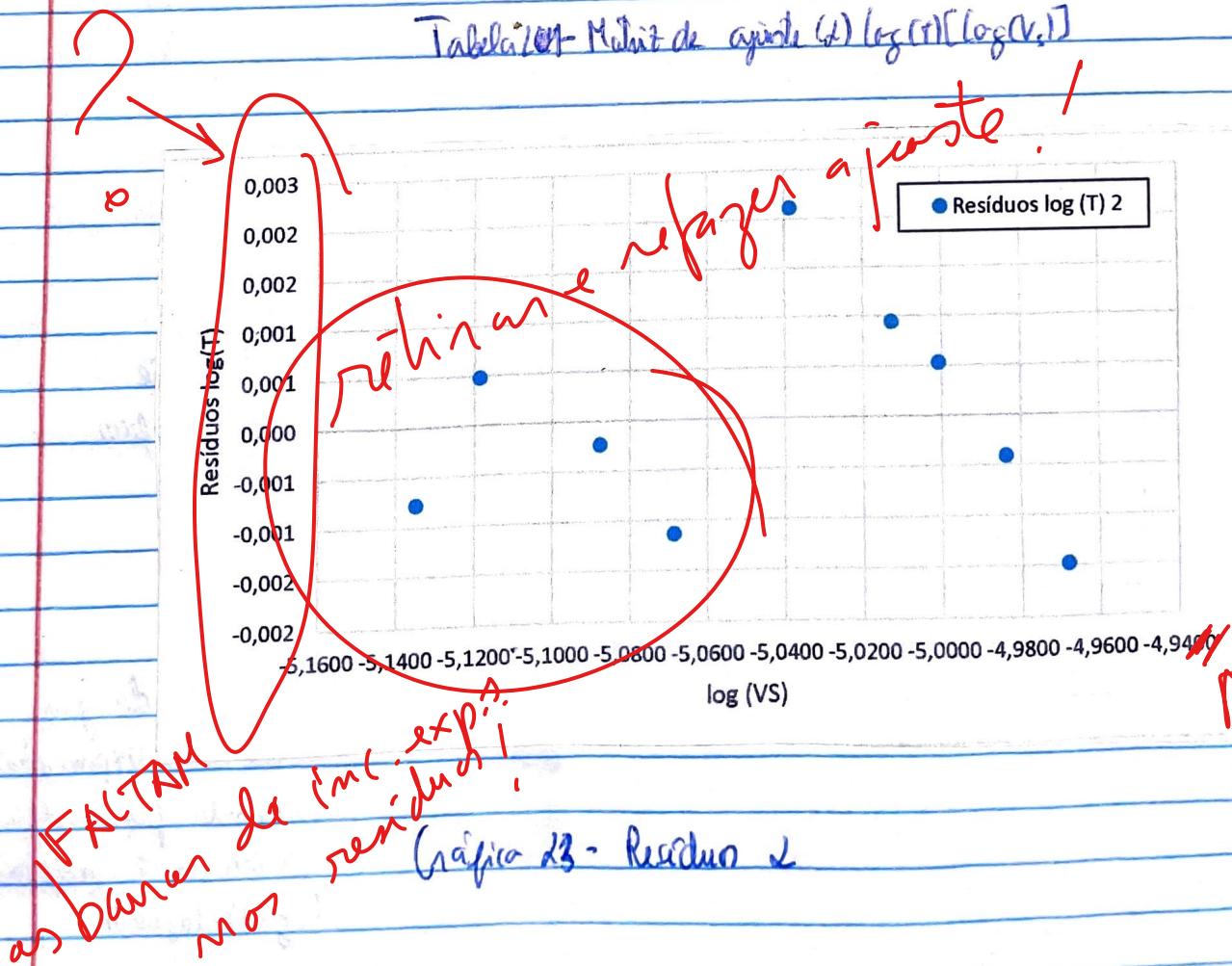


(Gráfico 22 -  $\log(T)$  em função de  $\log(V_s)$  e ajuste linear)

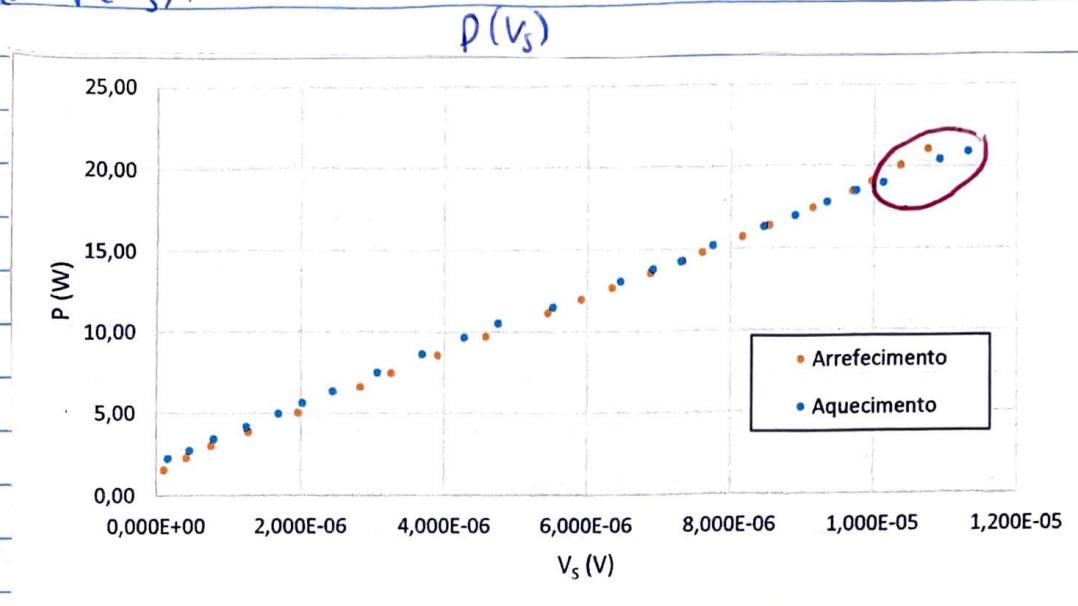
Matriz de ajuste (2) - $\log(T)[\log(V_s)]$		
m	0,272	<del>4,510</del> b
$\sigma_m$	0,007	<del>0,036</del> $\sigma_b$
$r^2$	0,995	<del>0,0012055</del> sy

alg? signif. errado

Tabelamento - Matriz de ajuste (2)  $\log(T)[\log(V_s)]$



Montando agora os dados do aquecimento e do arrefecimento no gráfico  $P(V_s)$ :



Como podemos reparar, nos pontos assinalados os dados do arrefecimento e do aquecimento afastam-se ~~umas das outras~~, ~~possivelmente~~ devido a um toque que pensa ter deixado ligeiramente o sensor. Por isso, decidiu-se retirar os pontos ~~assinalados~~ ~~apenas~~ para o resto da análise.

$\log(T)[\log(V_s)]$

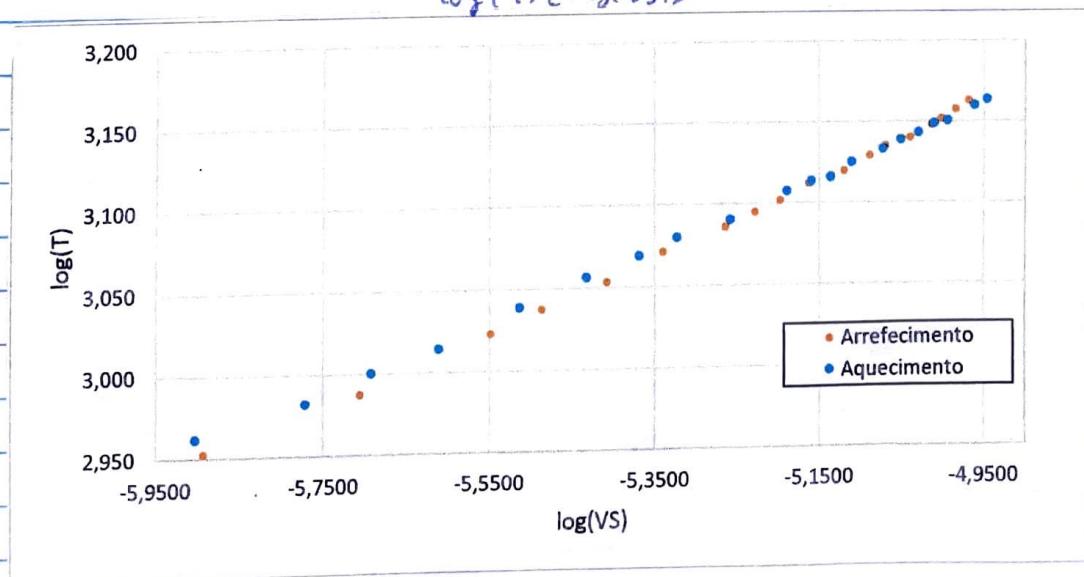


Gráfico 25 -  $\log(T)$  em função de  $\log(V_s)$  (arrefecimento e aquecimento)

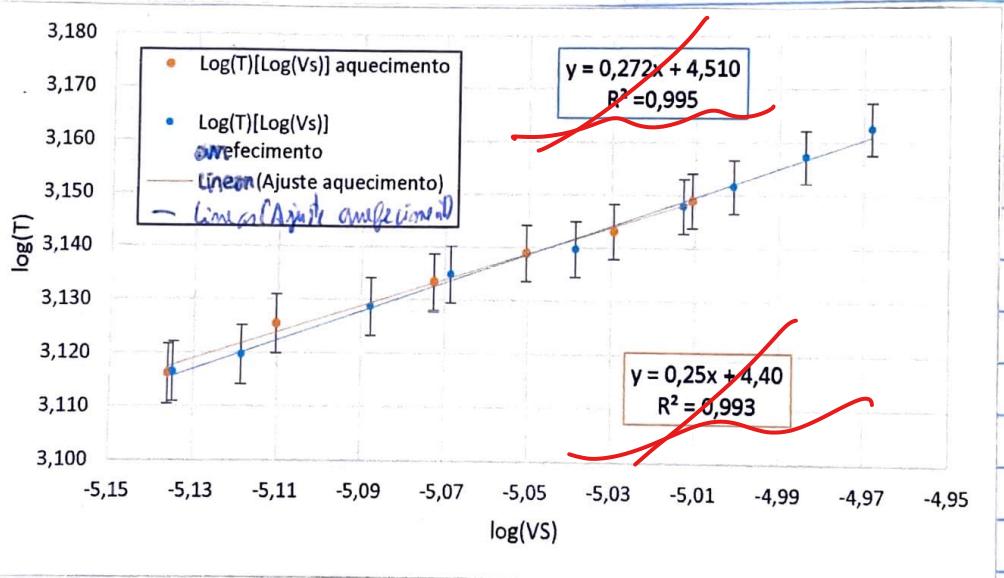
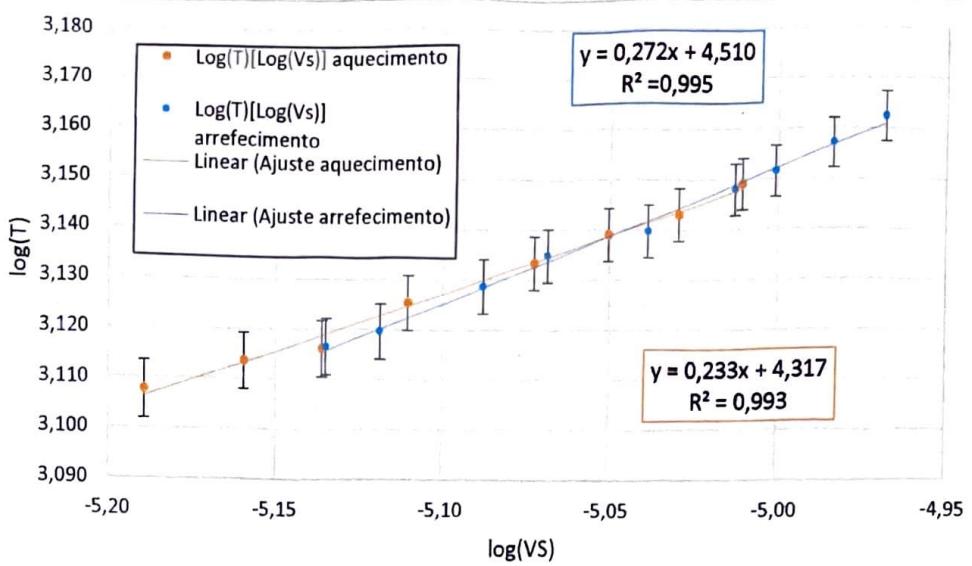


Gráfico 28 -  $\log(t)$  em função de  $\log(V_s)$   
 (ajuste linear (2) aquecimento e arrefecimento)

Fazendo entro o gráfico de resíduos do ajuste (2):

Ajustes // finais // P/ estimativa matrizes // Ano novo?

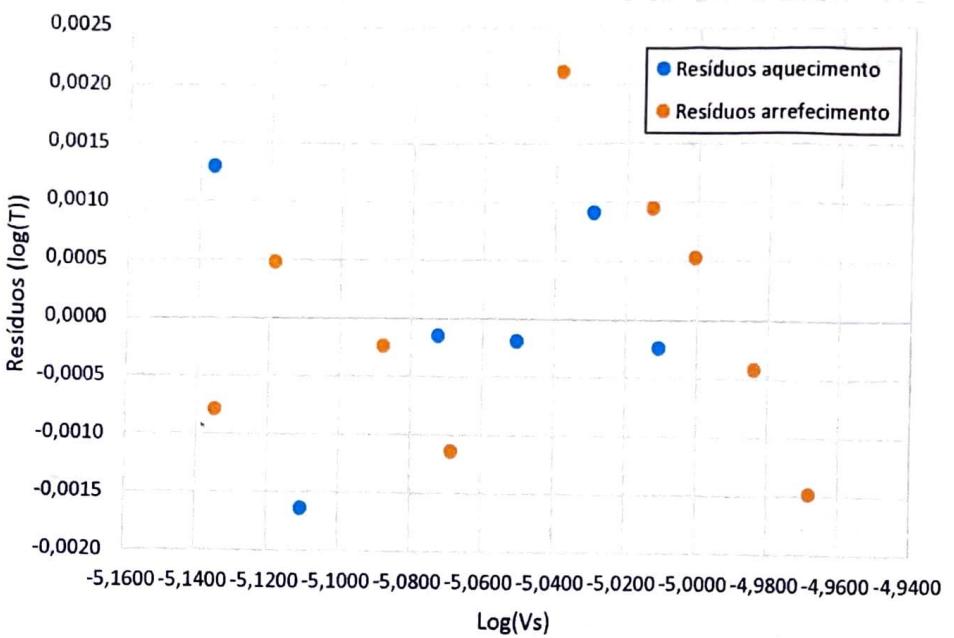


Gráfico 2.8 - Resíduos

### Resultados

- Custo de bolha:

$$\epsilon_{\text{perda}} = 1$$

$$\epsilon_{\text{brancas}} = 0,98838$$

$$\epsilon_{\text{dias}} = 0,34805657$$

$$\epsilon_{\text{metálicas}} = 0,10329458$$

- Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R_{\text{abs}} = (0,983 \pm 0,001) n$$

O processo de aquecimento:

$$m_{\text{uf}} = 0,250$$

$$m_{\text{xp}} = 0,233$$

$$\epsilon_{\text{aqua}} (\%) = 6,8 \%$$

mais (m)undo  
Qual o expoente m

em m?

% inc?  $\sqrt{s} \propto T^m$ ?

No processo de aquecimento:

$$m_{\text{ref}} = 0,470$$

$$m_{\text{exp}} = 0,472$$

$$\epsilon_{\text{ref}} (\%) = 8,8 \%$$

Conclusão:

No estudo com o cubo de Leslie, no cálculo das emissividades, observamos que a face preta e a branca são muito altas (apenas quase como (corpo negro))  $\epsilon_{\text{preta}} \approx \epsilon_{\text{branca}}$ . Sendo isto esperado que  $\epsilon_{\text{preta}} \approx \epsilon_{\text{branca}} \approx 10^8$  para a face branca, o resultado obtido para a  $\epsilon_{\text{branca}}$  foi maior do que o esperado.

Ola verificação da lei de Stefan-Boltzmann os resultados são de acordo com o esperado, verificando-se um ena de 6,89 no processo de aquecimento e um ena de 8,8% no processo de resfriamento.

*Não considero que tenha feito uma boa análise e apresente uma boa exploração dos dados*