

Estudo experimental da radiação térmica

15.5

1) Objetivos

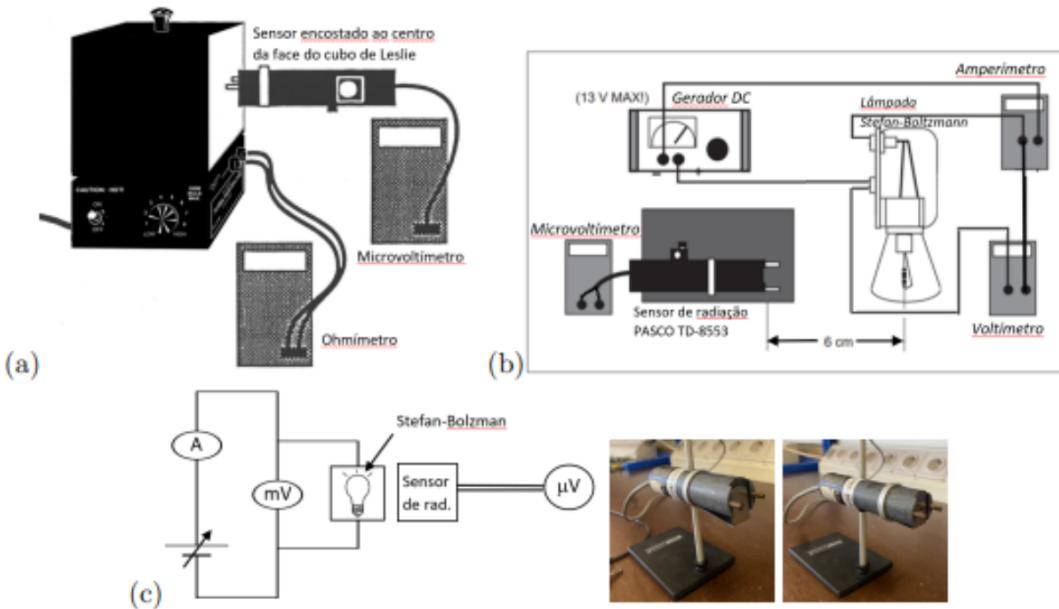
- Apreciação qualitativa da emissividade de vários materiais
- Verificação da lei de Stefan - Boltzmann

2) Material

- Cubo de Leslie
- Lâmpada de Stefan - Boltzmann
- Sensor de radiação com anteparos espelhados
- Fonte de tensão
- Ohmímetro
- Microvoltímetro
- Voltímetro
- Amperímetro

3) Montagem e procedimentos

① Cubo de Leslie



- Realizar a montagem acima
- Programar a radiação ambiente. Se o sensor estiver em equilíbrio térmico com o ambiente a radiação recebida será igual ao valor da radiação emitida pelo sensor.
- Ligar o ohmímetro nos terminais do termistor do cubo de Leslie e aquecê-lo com a potência ao máximo.
- Vigiar o termistor até atingir 40°C . Ajustar então o controlo da fonte para a posição 5.
- Estando já o cubo em equilíbrio térmico com o exterior, para esta potência, efectuar medidas em aquecimento e até ao máximo que conseguir, da radiação emitida pelas diferentes faces, encostando as pontas do sensor sensivelmente ao centro de cada face. **Leia Notas Prof.**

- Numa análise gráfico de V_s em função do T^4 , compare entre si a emissividade das várias faces relativamente à face preta, considerando nerta $e_{preta} \sim 1$ **Protocolo**

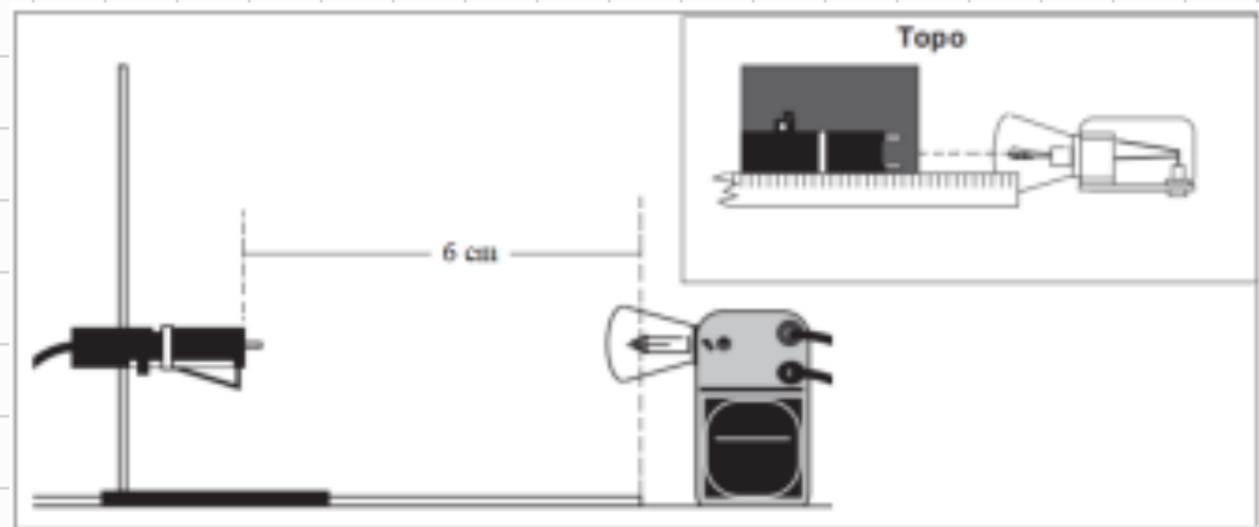
1

- Montar o circuito figura 1(b)

*não a vibrar
numérico mas
figo!*

- Medir, com uma tensão inferior a 0,1 V, a resistência da lâmpada de Stefan-Boltzmann, R_{amb} , e registar esse valor. O registo de um valor correto para R_{amb} é muito importante. **Protocolo**
- Não ultrapassar 12V (Lâmpada máx. 13V)

- Ajustar a altura do sensor no suporte de modo a estar alinhado com o centro do filamento da lâmpada (figura 2). Colocar o sensor a 6 cm da lâmpada e desviar todos os objetos do "campo visual" do sensor.

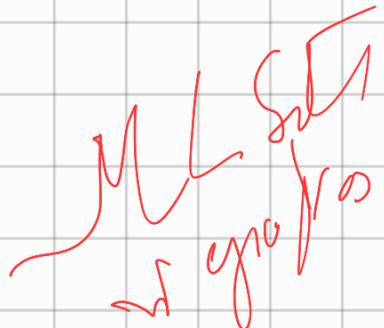


- Registrar tanto em aquecimento como em arrefecimento (Na gama experimental de 1V a 12V, e variando V), trios de valores de (V , I , V_s), onde V e I são obtidos no circuito da lâmpada, e a tensão V_s é lida no microvoltímetro ligado ao sensor. **Protocolo**

- Investigar a veracidade da lei de Stefan-Boltzmann

$$V_s = A \varepsilon \sigma T^4$$

- Numa gama de temperaturas $T \sim [2000\text{ K} \text{ a } 3400\text{ K}]$, considero como referência a gama de valores esperável (para filamentos de tungsténio "aged") $\varepsilon \sim [0,035 \text{ a } 0,5]$



4 | Fórmulas

$$V_s = A \varepsilon \sigma T^4$$

$$P = \varepsilon \sigma I^4$$

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)$$

5) Tratamento experimental

1) Céu de Leslie

Durante a experiência os dados registrados foram prejudicados pelo mau registro dos dados, condicionado pela falta de espera na estabilização da leitura da resistência.

Análise dos dados

Durante a análise dos dados retiraram-se os pontos referentes às faces preta e branca estes eram erros bastante altos e davam-se de tendência pela razão acima especificada.

Posição do alimentador	R(KΩ)	R(Ω)	T (°C)	T ⁴ (K ⁴)	V _s metalizada (mV)	V _s metalizada (V)	V _s aj (V)	Resíduos (V)
5	8,44	8,440E+03	87,25	1,69E+10	0,79	7,90E-04	8,43E-04	5E-05
6	7,08	7,080E+03	92,34	1,78E+10	1,11	1,11E-03	9,05E-04	-2E-04
7	4,31	4,310E+03	105,86	2,06E+10	1,08	1,08E-03	1,08E-03	-3E-08
8	3,65	3,650E+03	109,88	2,15E+10	1,23	1,23E-03	1,14E-03	-9E-05
4	5,32	5,320E+03	100,35	1,95E+10	0,76	7,60E-04	1,01E-03	2E-04

Posição do alimentador	R(KΩ)	R(Ω)	T (°C)	T ⁴ (K ⁴)	V _s branca (mV)	V _s branca (V)	V _s aj (V)	Resíduos (V)
5	8,39	8,390E+03	87,42	1,69E+10	7,11	7,11E-03	7,51E-03	4E-04
6	6,91	6,910E+03	93,03	1,80E+10	8,95	8,95E-03	8,12E-03	-8E-04
7	4,26	4,260E+03	106,15	2,07E+10	9,96	9,96E-03	9,65E-03	-3E-04
8	3,63	3,630E+03	110,01	2,16E+10	10,36	1,04E-02	1,01E-02	-2E-04
4	4,73	4,730E+03	103,48	2,01E+10	8,36	8,36E-03	9,33E-03	1E-03

Posição do alimentador	R(KΩ)	R(Ω)	T (°C)	T ⁴ (K ⁴)	V _s baça (mV)	V _s baça (V)	V _s aj (V)	Resíduos (V)
5	8,24	8,240E+03	87,95	1,70E+10	2,72	2,72E-03	3,01E-03	3E-04
6	7,14	7,140E+03	92,09	1,78E+10	3,61	3,61E-03	3,14E-03	-5E-04
7	4,23	4,230E+03	106,33	2,07E+10	3,88	3,88E-03	3,60E-03	-3E-04
8	3,73	3,730E+03	109,38	2,14E+10	3,65	3,65E-03	3,70E-03	5E-05
4	4,91	4,910E+03	102,50	1,99E+10	3,05	3,05E-03	3,47E-03	4E-04

Posição do alimentador	R(KΩ)	R(Ω)	T (°C)	T ⁴ (K ⁴)	V _s preta (mV)	V _s preta (V)	V _s aj (V)	Resíduos (V)
5	8,53	8,530E+03	86,94	1,68E+10	7,10	7,10E-03	7,48E-03	4E-04
6	7,00	7,000E+03	92,66	1,79E+10	9,18	9,18E-03	8,14E-03	-1E-03
7	4,23	4,230E+03	106,33	2,07E+10	10,08	1,01E-02	9,85E-03	-2E-04
8	3,70	3,700E+03	109,57	2,15E+10	10,43	1,04E-02	1,03E-02	-1E-04
4	5,34	5,340E+03	100,25	1,94E+10	8,04	8,04E-03	9,07E-03	1E-03

Tabelas dos dados experimentais

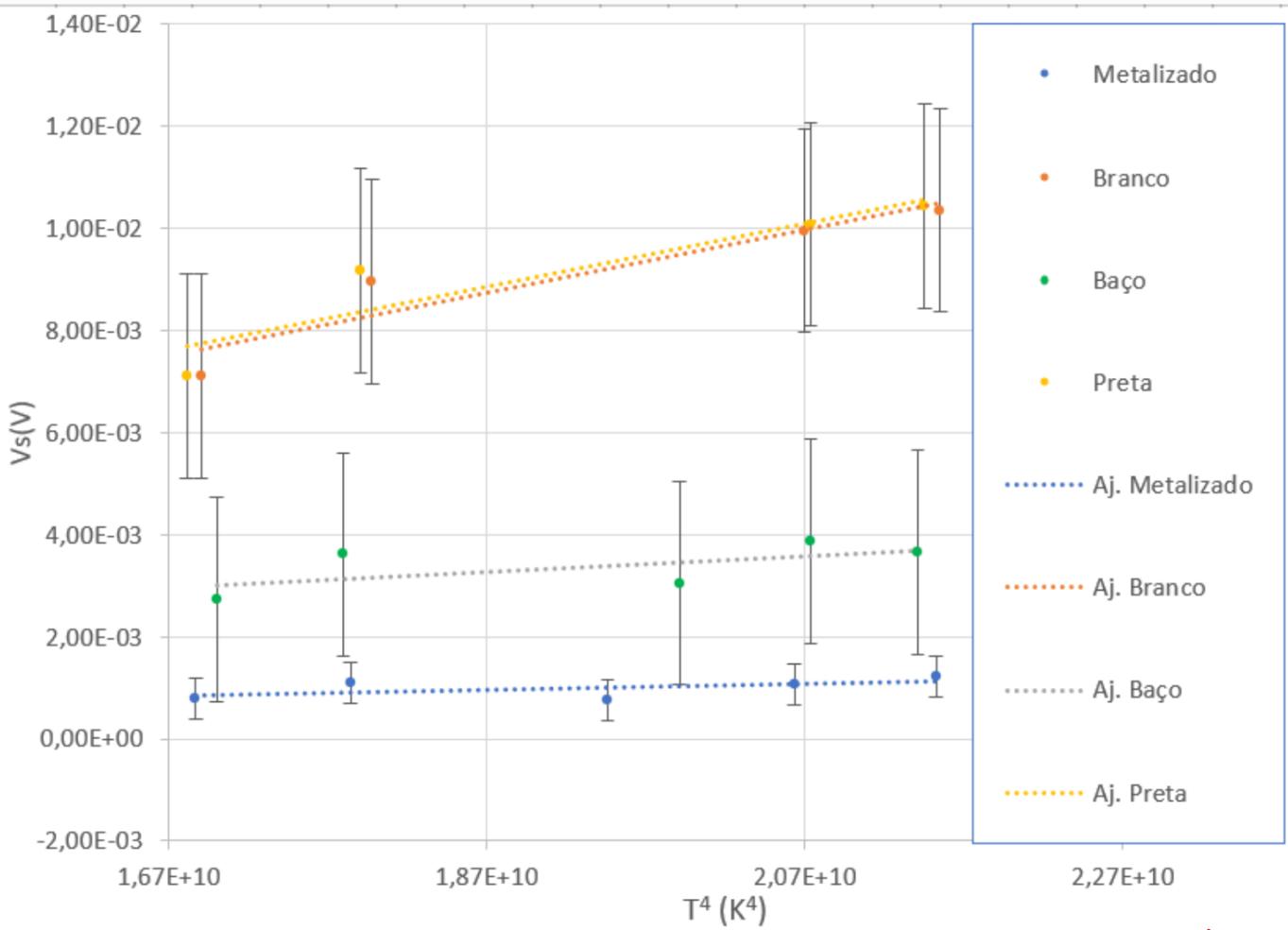


Gráfico de dados experimentais

Vemos que os dados bem adquiridos estão mais próximos da curva de ajuste.

Matrizes referentes aos dados de cada face

Matriz de Ajuste Metalizada

m	6E-14	-0,0002	b
s(m)	5E-14	0,001	s(b)
r²	0,3	2E-04	s(y)

4E-04 **u(sy)**

Matriz de Ajuste Preta

m	6,19E-13	-2,70E-03	b
s(m)	2E-13	4E-03	s(b)
r²	0,8	7E-04	s(y)

1E-03 **u(sy)**

Matriz de Ajuste Baço

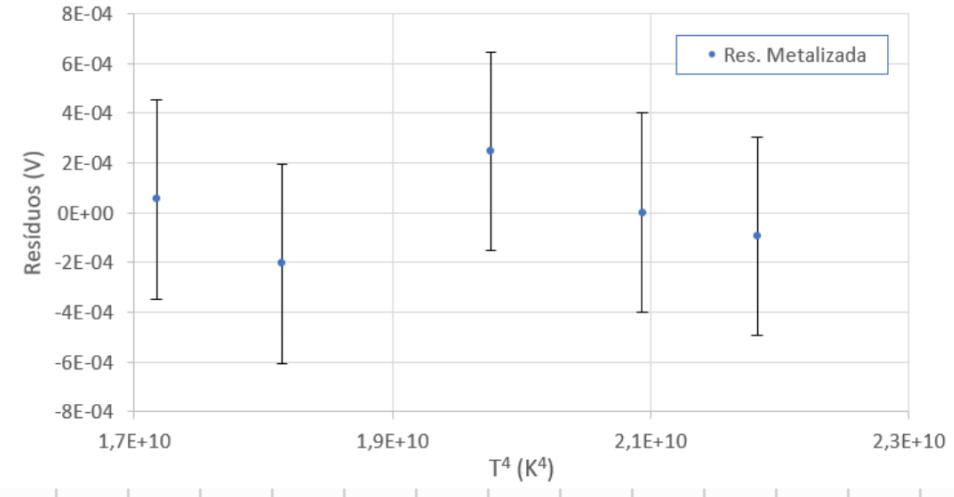
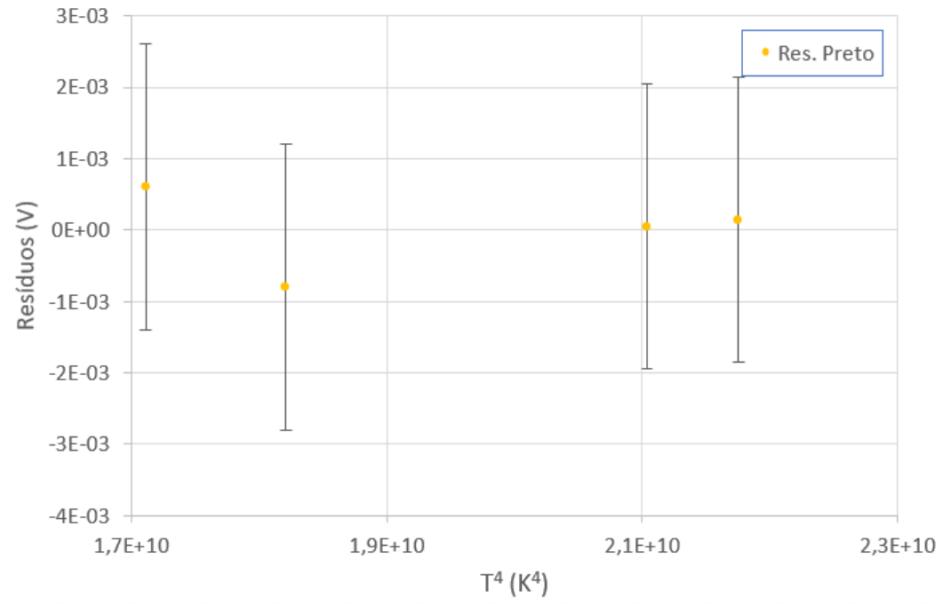
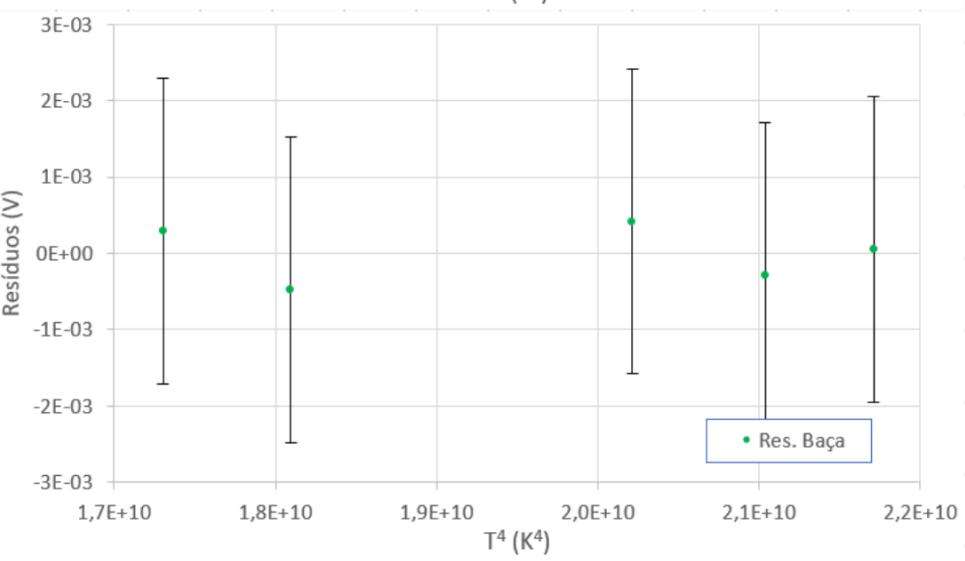
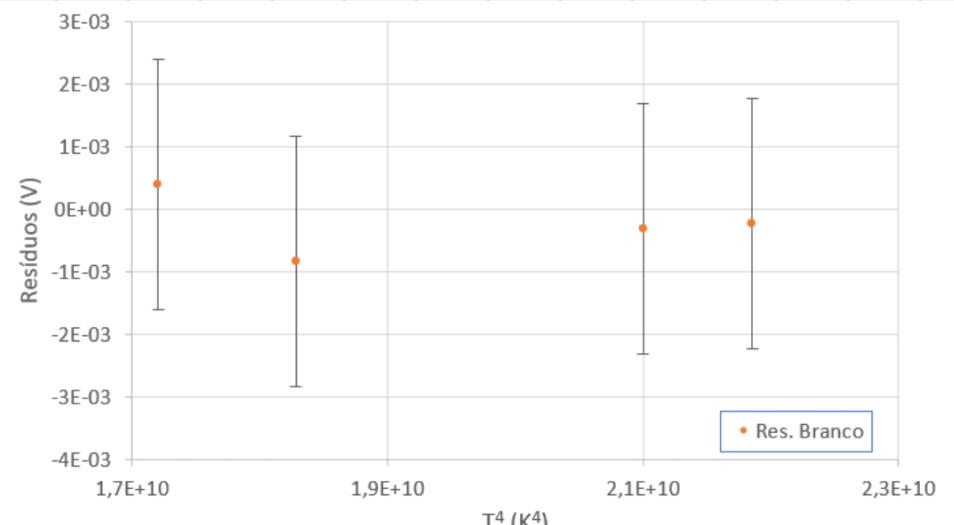
m	1,57E-13	3,49E-04	b
s(m)	1E-13	2E-03	s(b)
r²	0,4	4E-04	s(y)

9E-04 **u(sy)**

Matriz de Ajuste Branca

m	5,65E-13	-2,04E-03	b
s(m)	2E-13	4E-03	s(b)
r²	0,7	8E-04	s(y)

2E-03 **u(sy)**



Gráficos do
resíduos referentes
a cada face

↓
Todos
Mínimo gráfico /

Nosso retirando esses dados os valores de π^2
 não fazem. No entanto :

Tomando a emisividade da face preta com $\epsilon = 1$ _{Preta}
 podemos calcular a emisividade relativa das outras faces

ϵ_{preta}	1,00E+00
ϵ_{branca}	0,913
$\epsilon_{\text{baça}}$	0,253
$\epsilon_{\text{metalizada}}$	0,102

$\approx \epsilon_{\text{branca}}$
 $\approx 0,1 \epsilon_{\text{branca}}$
 $\approx 1/2 \epsilon_{\text{branca}}$

Com os valores relativos das emisividades, temos:

$$\text{Como } V_s d T^4 \Rightarrow V_s d \epsilon T^4 \Rightarrow V_s = \epsilon \cdot T^4 \cdot C$$

em que C é uma constante a determinar

isto é
o resultado

$$C = \frac{V_s}{\epsilon \cdot T^4} \Rightarrow C = 6,19 \times 10^{-13}$$

E tendo a constante de Stefan-Boltzmann:

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

$$\text{Fazendo a área do sensor} \Rightarrow \frac{C}{\sigma} = 1,09 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$= 1,09 \times 10^{-1} \text{ cm}^2$$

inc.

Mesmo com os dados inconsistentes temos que a emisividade das faces preta e branca são muito superiores às outras.

2) Lei de Stefan - Boltzmann

Dados experimentais

V (V)	I(A)	Vs (mV)	Vs (V)	R(Ω)	u(R(Ω))	R/R _{amb}	u(R/R _{amb})	T(K)	P(W)	u(P(W))	log(T)	Vs ajuste (V)	resíduos Vs (V)	log (Vs)	u(log (Vs))	log (Vs) aj	Resíduos log (Vs)
1,09	0,614	0,013	0,000013	1,775	0,003	2,88	0,01	699	0,669	0,006	2,8444	-0,00063	-0,0006	-4,886	0,03	-4,0	0,9
1,68	0,708	0,145	0,000145	2,373	0,004	3,85	0,01	885	1,189	0,007	2,9470	-0,00032	-0,0005	-3,839	0,003	-3,6	0,3
2,17	0,778	0,341	0,000341	2,789	0,004	4,52	0,01	1013	1,688	0,008	3,0056	-0,00001	-0,0004	-3,467	0,001	-3,3	0,1
2,78	0,859	0,661	0,000661	3,236	0,004	5,25	0,01	1149	2,388	0,009	3,0602	0,00041	-0,0003	-3,180	0,0007	-3,1	0,1
3,19	0,910	0,946	0,000946	3,505	0,004	5,69	0,01	1230	2,903	0,010	3,0898	0,00072	-0,0002	-3,0241	0,0005	-3,0	0,04
3,69	0,973	1,311	0,001311	3,792	0,004	6,15	0,01	1315	3,590	0,010	3,1190	0,00113	-0,0002	-2,8824	0,0003	-2,9	0,02
4,26	1,039	1,757	0,001757	4,100	0,004	6,65	0,01	1406	4,426	0,011	3,1480	0,00164	-0,0001	-2,7552	0,0002	-2,7	0,01
4,75	1,092	2,188	0,002188	4,350	0,004	7,06	0,02	1479	5,187	0,012	3,1701	0,00210	-0,0001	-2,6600	0,0002	-2,7	0,01
5,35	1,158	2,751	0,002751	4,620	0,004	7,5	0,02	1558	6,195	0,013	3,1926	0,00270	0,0000	-2,5605	0,0002	-2,6	0,00
5,81	1,206	3,214	0,003214	4,818	0,004	7,8	0,02	1615	7,007	0,013	3,2082	0,00319	-0,00021	-2,4930	0,0001	-2,5	0,001
6,46	1,269	3,910	0,003910	5,091	0,004	8,3	0,02	1694	8,198	0,014	3,2288	0,00391	0,00008	-2,4078	0,0001	-2,4	0,002
6,77	1,298	4,259	0,004259	5,216	0,004	8,5	0,02	1729	8,787	0,015	3,2378	0,00427	0,00001	-2,37069	0,0001	-2,4	0,002
7,43	1,360	5,050	0,005050	5,463	0,004	8,9	0,02	1799	10,105	0,015	3,2551	0,00506	0,00001	-2,29671	0,0001	-2,3	0,000
7,91	1,404	5,637	0,005637	5,634	0,004	9,1	0,02	1848	11,106	0,016	3,2666	0,00566	0,00003	-2,24895	0,0001	-2,2	0,000
8,51	1,457	6,488	0,006488	5,841	0,004	9,5	0,02	1906	12,399	0,017	3,2800	0,00644	-0,00004	-2,18789	0,0001	-2,2	-0,005
8,88	1,488	6,919	0,006919	5,968	0,004	9,7	0,02	1941	13,213	0,017	3,2880	0,00694	0,00002	-2,15996	0,0001	-2,2	0,000
9,36	1,529	7,597	0,007597	6,122	0,004	9,9	0,02	1984	14,311	0,018	3,2975	0,00760	0,00000	-2,11936	0,0001	-2,1	-0,001
9,77	1,562	8,163	0,008163	6,255	0,004	10,1	0,02	2021	15,261	0,018	3,3055	0,00817	0,00001	-2,08815	0,0001	-2,1	0,001
9,89	1,573	8,361	0,008361	6,287	0,004	10,2	0,02	2030	15,557	0,019	3,3074	0,00835	-0,00001	-2,07774	0,0001	-2,1	-0,001
10,20	1,599	8,802	0,008802	6,379	0,004	10,3	0,02	2055	16,310	0,019	3,3128	0,00880	0,00000	-2,05542	0,00005	-2,1	-0,001
10,41	1,615	9,115	0,009115	6,446	0,004	10,5	0,02	2073	16,812	0,019	3,3166	0,00911	-0,00001	-2,04024	0,00005	-2,0	0,000
10,58	1,629	9,400	0,009400	6,495	0,004	10,5	0,02	2087	17,23	0,02	3,3194	0,00936	-0,00004	-2,02687	0,00005	-2,0	-0,002
10,91	1,654	9,848	0,009848	6,596	0,004	10,7	0,02	2114	18,05	0,02	3,3252	0,00985	0,00001	-2,00665	0,00004	-2,0	0,001
11,09	1,669	10,149	0,010149	6,645	0,004	10,8	0,02	2128	18,51	0,02	3,3279	0,01013	-0,00002	-1,99358	0,00004	-2,0	0,000
11,32	1,687	10,489	0,010489	6,710	0,004	10,9	0,02	2145	19,10	0,02	3,3315	0,01048	-0,00001	-1,97927	0,00004	-2,0	0,000
11,55	1,705	10,835	0,010835	6,774	0,004	11,0	0,02	2163	19,69	0,02	3,3350	0,01084	0,00001	-1,96517	0,00004	-2,0	0,001
11,96	1,736	11,437	0,011437	6,889	0,004	11,2	0,02	2194	20,76	0,02	3,3412	0,01149	0,00001	-1,94169	0,00004	-1,9	0,003

Dados referentes ao experimento no aquecimento

V (V)	I(A)	Vs (mV)	Vs (V)	R(Ω)	u(R(Ω))	R/R _{amb}	u(R/R _{amb})	T(K)	P(W)	u(P(W))	log(T)	Vs ajuste (V)	resíduos Vs (V)	log (Vs)	u(log (Vs))	log (Vs) aj	Resíduos log (Vs)
11,73	1,719	11,160	0,011160	6,824	0,004	11,1	0,02	2176	20,16	0,02	3,3377	0,01120	0,00004	-1,95234	0,00004	-1,952	0,001
11,59	1,708	10,994	0,010994	6,786	0,004	11,0	0,02	2166	19,80	0,02	3,3356	0,01097	-0,00003	-1,95884	0,00004	-1,960	-0,002
11,31	1,687	10,565	0,010565	6,704	0,004	10,9	0,02	2144	19,08	0,02	3,3312	0,01052	-0,00004	-1,97613	0,00004	-1,979	-0,003
11,18	1,670	10,370	0,01037	6,695	0,004	10,9	0,02	2141	18,67	0,02	3,3306	0,01027	-0,00010	-1,98422	0,00004	-1,981	0,003
11,09	1,670	10,215	0,010215	6,641	0,004	10,8	0,02	2126	18,52	0,02	3,3277	0,01018	-0,00004	-1,99076	0,00004	-1,993	-0,003
10,87	1,653	9,785	0,009785	6,576	0,004	10,7	0,02	2109	17,97	0,02	3,3240	0,00984	0,00005	-2,00944	0,00004	-2,008	0,001
10,66	1,636	9,483	0,009483	6,516	0,004	10,6	0,02	2092	17,44	0,02	3,3206	0,00951	0,00003	-2,02305	0,00005	-2,022	0,001
10,47	1,621	9,200	0,0092	6,459	0,004	10,5	0,02	2077	16,97	0,02	3,3174	0,00922	0,00002	-2,03621	0,00005	-2,036	0,005
10,30	1,608	8,907	0,008807	6,405	0,004	10,4	0,02	2062	16,56	0,02	3,3143	0,00897	0,00006	-2,05027	0,00005	-2,048	0,002
10,08	1,591	8,610	0,00861	6,336	0,004	10,3	0,02	2043	16,04	0,02	3,3102	0,00864	0,00003	-2,06500	0,0001	-2,065	-0,003
9,86	1,573	8,295	0,008295	6,268	0,004	10,2	0,02	2024	15,51	0,02	3,3063	0,00831	0,00002	-2,08118	0,0001	-2,082	-0,004
9,64	1,554	7,963	0,007963	6,203	0,004	10,1	0,02	2006	14,98	0,02	3,3024	0,00799	0,00002	-2,09892	0,0001	-2,098	0,001
9,46	1,540	7,720	0,00772	6,143	0,004	10,0	0,02	1990	14,57	0,02	3,2988	0,00773	0,00001	-2,11238	0,0001	-2,113	-0,002
9,24	1,522	7,403	0,007403	6,071	0,004	9,8	0,02	1970	14,06	0,02	3,2944	0,00742	0,00001	-2,13059	0,0001	-2,131	-0,001
9,05	1,506	7,150	0,00715	6,009	0,004	9,7	0,02	1953	13,63	0,02	3,2906	0,00715	0,00000	-2,14569	0,0001	-2,146	-0,001
8,83	1,487	6,849	0,006849	5,938	0,004	9,6	0,02	1933	13,13	0,02	3,2862	0,00684	-0,00001	-2,16437	0,0001	-2,165	-0,003
8,63	1,470	6,593	0,006593	5,871	0,004	9,5	0,02	1914	12,69	0,02	3,2819	0,00656	-0,00003	-2,18092	0,0001	-2,182	-0,001
8,44	1,454	6,309	0,006309	5,805	0,004	9,4	0,02	1895	12,27	0,02	3,2777	0,00631	0,00000	-2,20004	0,0001	-2,200	0,005
8,06	1,420	5,832	0,005832	5,676	0,004	9,2	0,02	1859	11,45	0,02	3,2694	0,00579	-0,00004	-2,23418	0,0001	-2,234	0,002
7,55	1,375	5,223	0,0052234	5,491	0,004	8,9	0,02	1807	10,38	0,02	3,2570	0,00514	-0,00009	-2,28205	0,0001	-2,285	-0,003
7,12	1,346	4,673	0,004673	5,290	0,004	8,6	0,02	1750	9,58	0,02	3,2431	0,00464	-0,00003	-2,33040	0,0001	-2,343	-0,01
6,82	1,307	4,311	0,004311	5,218	0,004	8,5	0,02	1730	8,91	0,01	3,2380	0,00423	-0,00008	-2,36542	0,0001	-2,364	0,002
6,39	1,265	3,840	0,00384	5,051	0,004	8,2	0,02	1682	8,08	0,01	3,2259	0,00371	-0,00013	-2,41567	0,0001	-2,414	0,002
5,90	1,216	3,330	0,00333	4,852	0,004	7,9	0,02	1625	7,17	0,01	3,2109	0,00315	-0,00018	-2,47756	0,0001	-2,476	0,002
5,12	1,135	2,560	0,00256	4,511	0,004	7,3	0,02	1526	5,81	0,01	3,1837	0,00230	-0,00026	-2,59176	0,0002	-2,588	0,004
4,83	1,103	2,260	0,002														

Foram retirados dados relativamente ao aquecimento, arrefecimento e analisados de forma separada, a média dos dados para resultados "espelhados" não foi feita embora isto conduzisse a incerteza do drift, mas os resultados diferenciam-se por algumas casas decimais (embora se tenha tirado o mesmo número de pontos entre intervalos de 1V)

Para os R_{amb} foram medidas as dadas

$$V(v) = 0,0598 \pm 0,0001 V$$

$$u(V)(\%) = 0,17\%$$

$$I(A) = 0,0970 \pm 0,0001 A$$

$$u(I)(\%) = 0,10\%$$

$$R_{amb} = \frac{V}{I} = 0,616 \pm 0,001 \Omega$$

$$u(R_{amb})(\%) = 0,20\%$$

$V(i)$

~~análise~~ ⁽⁰⁾
~~reduzir~~ [?]

Para os valores medidos durante a exposição temos as seguintes incertezas

$$u(I) = 0,001 A$$

$$u(V) = 0,01 V$$

$$u(V_s) = 10^{-6} V$$

Análise de dados

Como farei por escolher a gama de dados experimentais.

Isto fez-se pois mas gamas mais baixas parte da incidência está a ser absorvida pelo vidro da lâmpada.

Focou-se nos dados de maior temperatura até os resíduos serem aceitáveis? **aleatórios!**
Fomos assim a gama selecionada para o cálculo

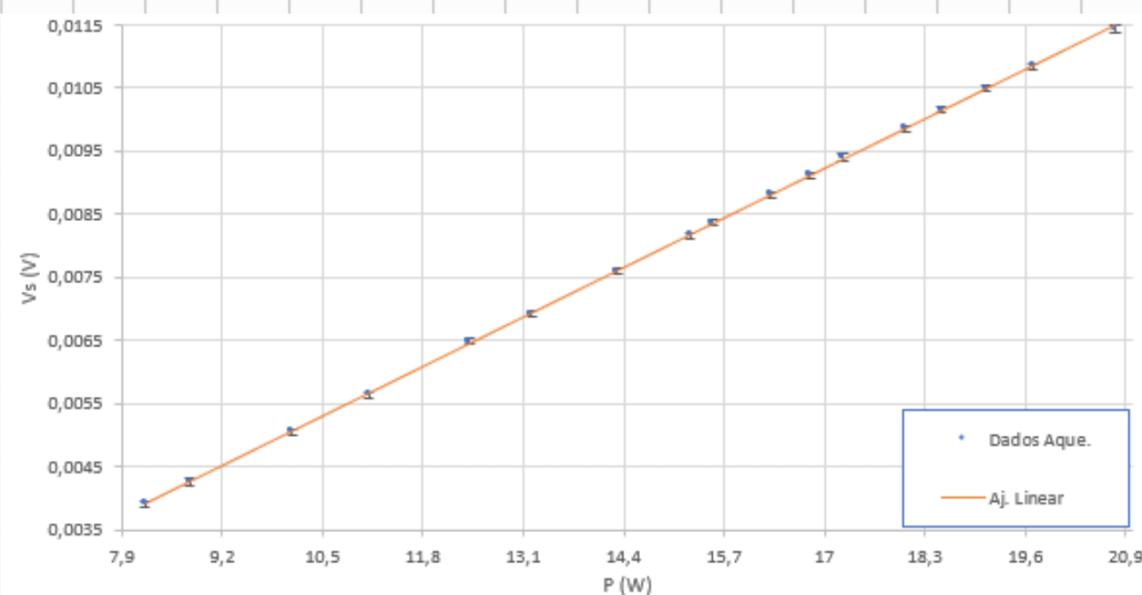
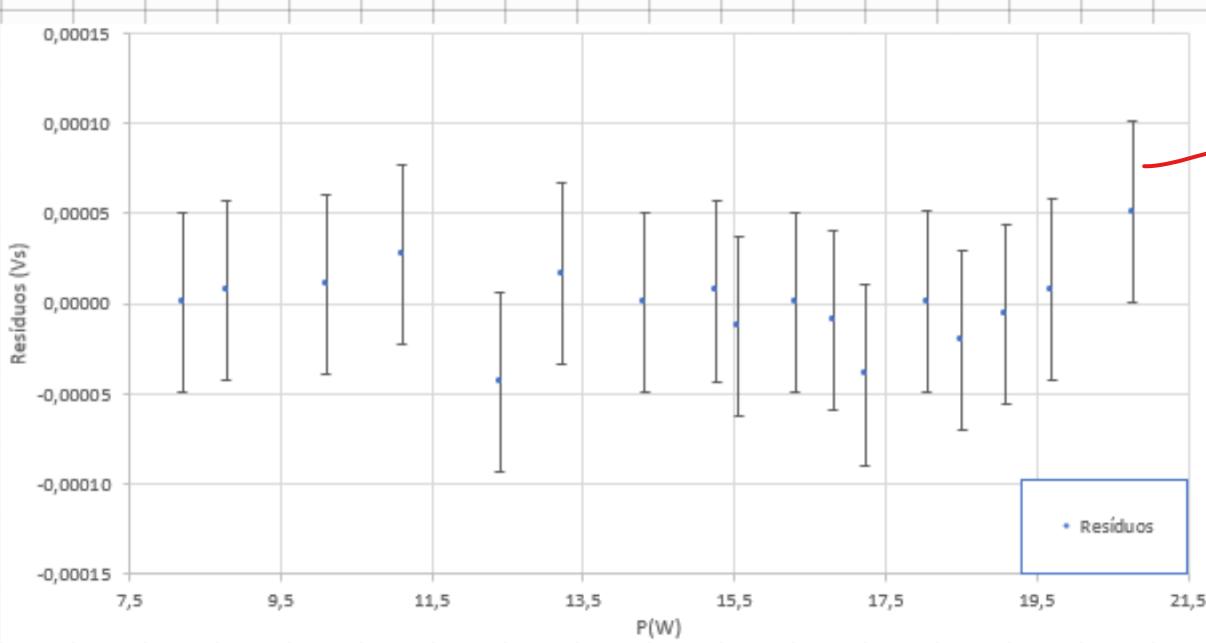


Gráfico dos dados da gama considerada

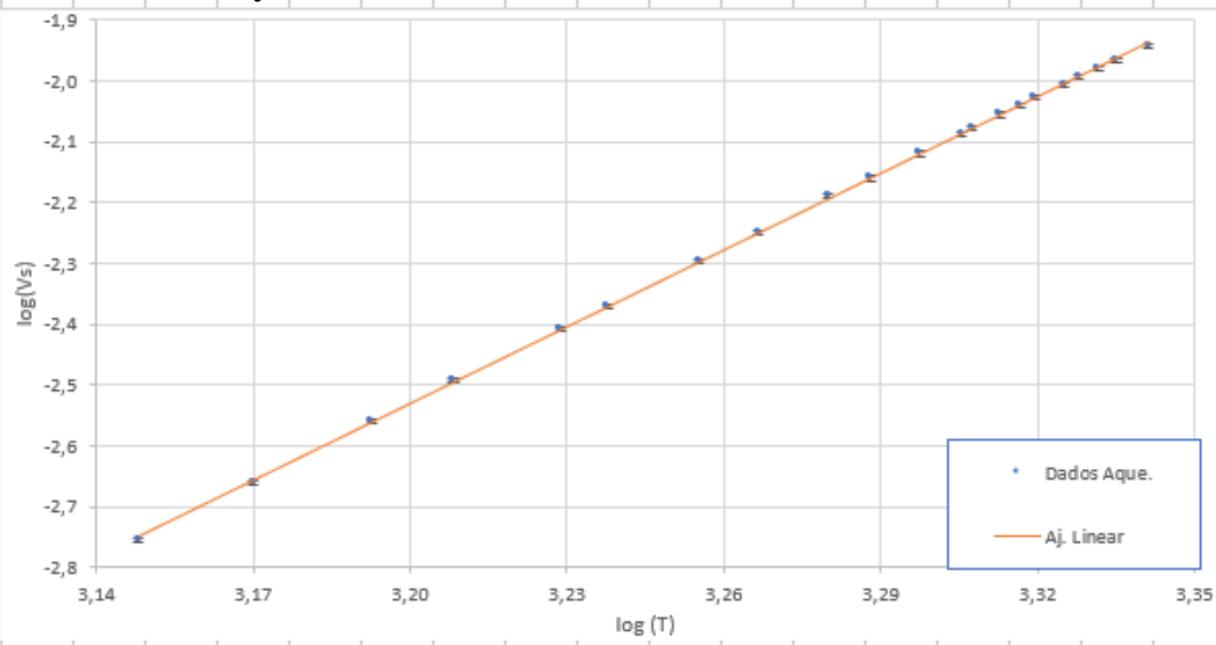
Matriz de Ajuste $V_s(P)$		
m	0,000603	b
$s(m)$	1E-06	$s(b)$
r^2	0,9999	$s(y)$ $u(sy)$

{ alg. magn. errado

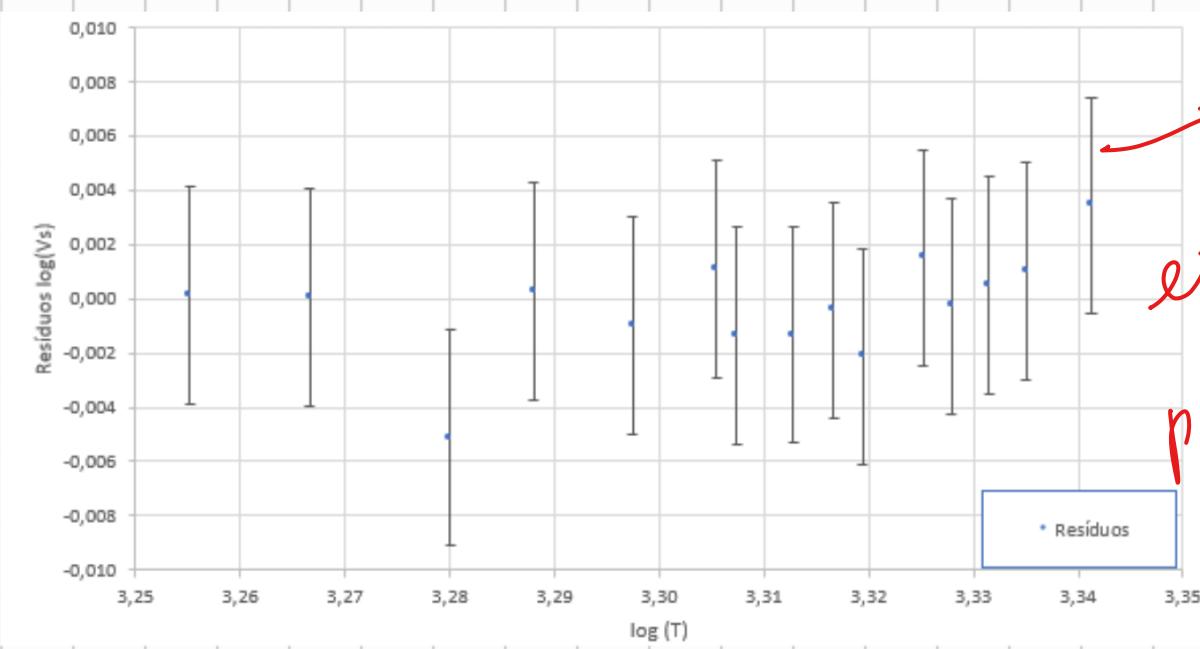
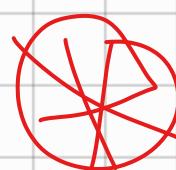


mo sítio errado

Com a gamma escolhida procedeu-se à construção
do gráfico $\log(V_s)$ ($\log(T)$)



Matriz de Ajuste Log		
m	4,162	b
$s(m)$	0,01	$s(b)$
r^2	0,9998	$s(y)$
	0,002	$s(v)$
	0,004	



errados se
pois não são
inc. experim.
o

Estudando a proporcionalidade $V_s \propto T^4$
ao termo $P \propto T^4$

Temos:

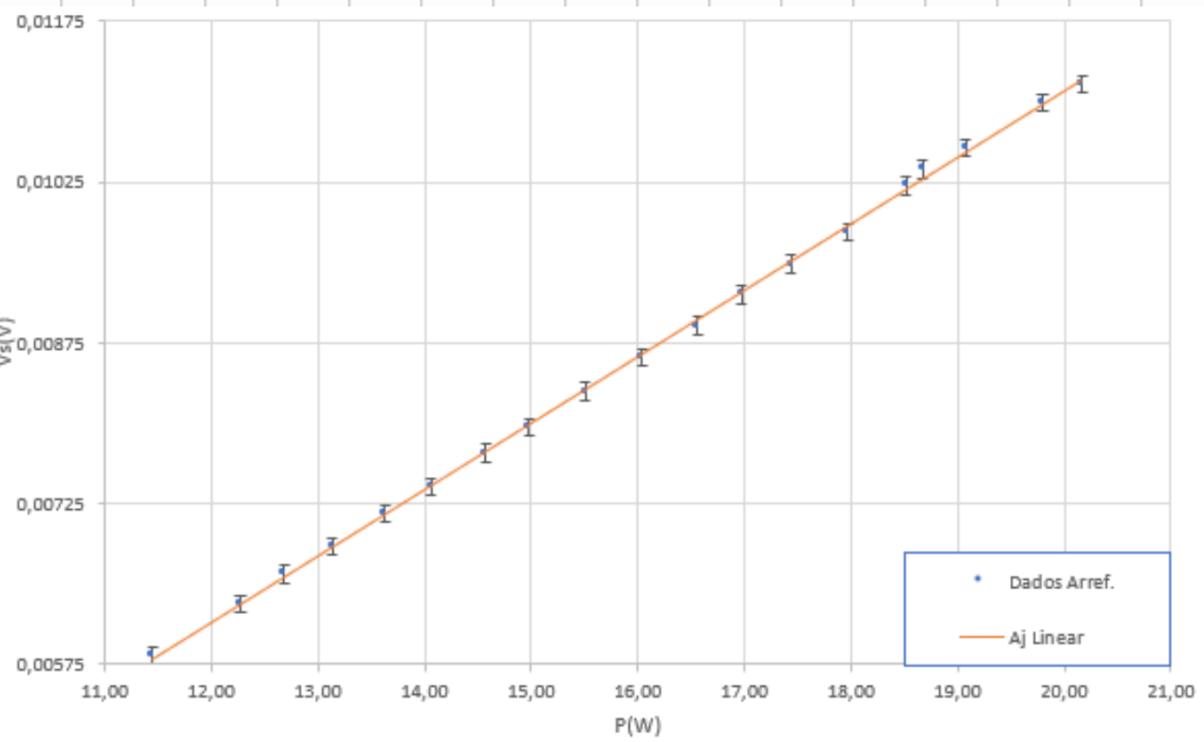
Sendo este o de cima
do rota

$$\log(P) \propto 4 \log(T)$$

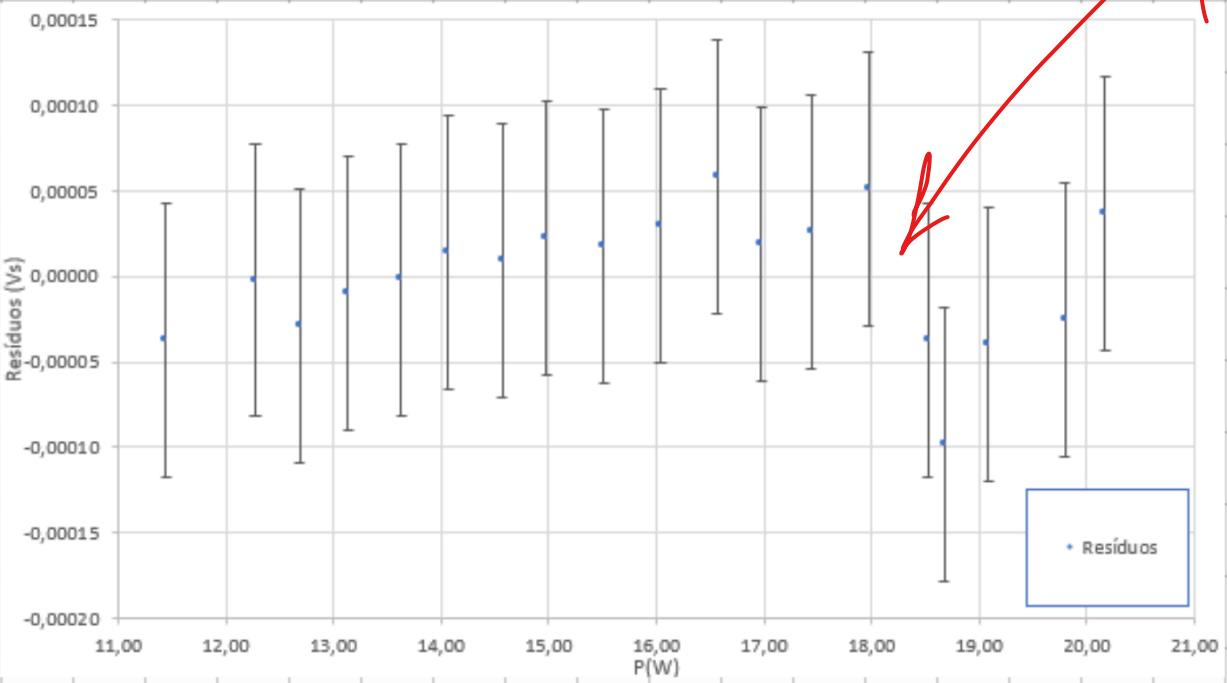
Com isto temos o resultado relativo ao aquecimento

$m_{\text{teórico}}$	4
m_{obtido}	4,16
$u(m_{\text{obtido}})$	0,01
$u(m_{\text{obtido}}) (%)$	0,3
erro (%)	4,16

Para o arrefecimento proceder-se da mesma maneira.



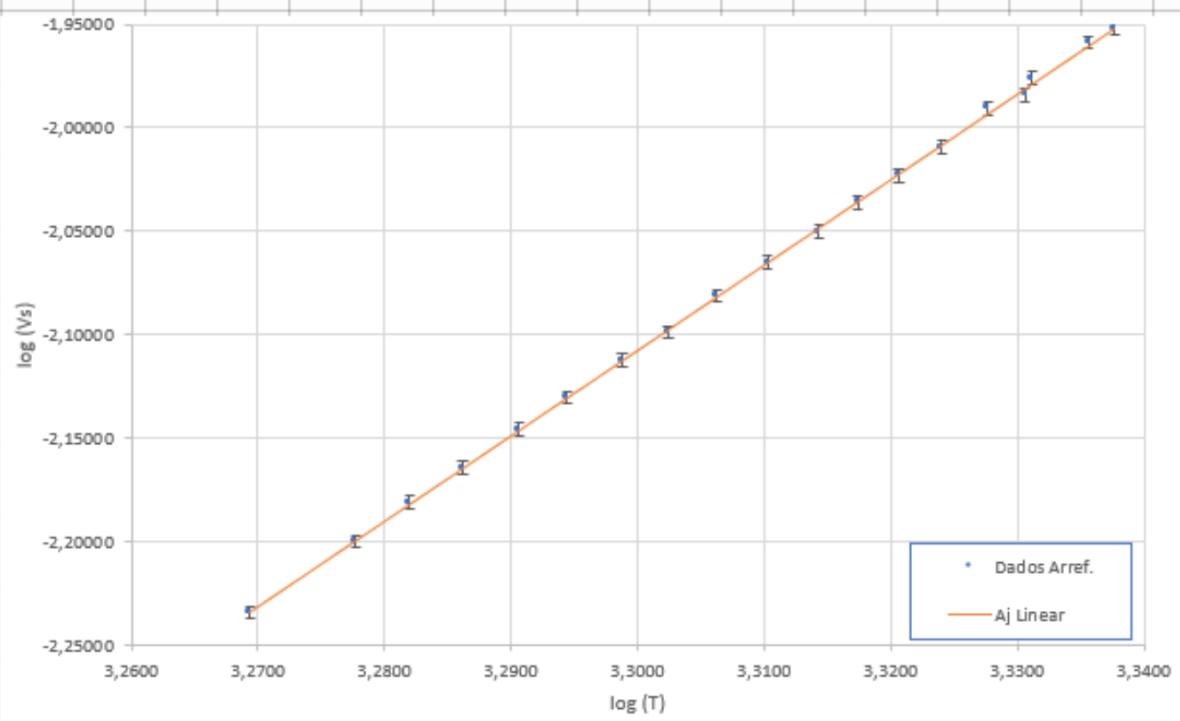
Matriz de Ajuste $V(P)$		
m	0,000620	$-0,001296012$
$s(m)$	3E-06	6E-05
r^2	0,9995	4E-05
		8E-05
		$s(b)$
		$s(y)$
		$u(sy)$



Que bolas de mijo apresenta?

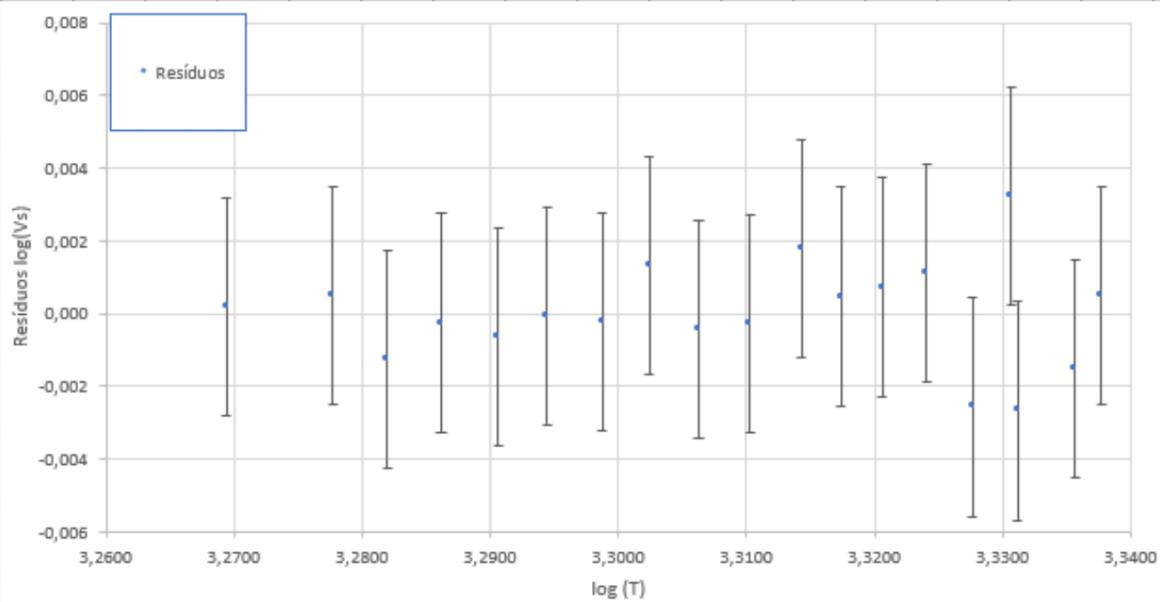
aqui houve
problema.
Parece que
o sensor
moveu

Gráfico log / log



Matriz de Ajuste Log

m	4,130	-15,7	b
$s(m)$	0,02	0,05	$s(b)$
r^2	0,9997	0,001	$s(y)$
		0,003	$u(sy)$



Resultado arrefecimento

$m_{\text{teórico}}$	4
m_{obtido}	4,13
$u(m_{\text{obtido}})$	0,02
$u(m_{\text{obtido}}) (%)$	0,4
erro (%)	3,2

6) Resultado Final

- Cubo de Lelie

$$\varepsilon_{\text{preta}} = 1$$

$$\varepsilon_{\text{branco}} = 0,913$$

$$\varepsilon_{\text{faca}} = 0,253$$

$$\varepsilon_{\text{melaleuca}} = 0,102$$

- Lei de Stefan - Boltzmann

$$\beta_{\text{amb}} = (0,616 \pm 0,001) \Omega$$

$$u(\beta_{\text{amb}})(\%) = 0,20 \%$$

No processo do aquecimento

$$m_{ref} = 4$$

$$m_{exp} = 4,16 \pm 0,01$$

$$u(m)(\%) = 0,3 \%$$

$$\text{erro} = 4\%$$

Delta analise
também é minimizada
de ápero
uma das causas
do erro.

No processo do arrefecimento

$$m_{ref} = 4$$

$$m_{exp} = 4,13 \pm 0,02$$

$$u(m)(\%) = 0,4 \%$$

$$\text{erro} = 3,2 \%$$

7) Conclusão

No estudo com o cubo de Leslie, e apesar de...
No primeira parte o cálculo das obteve - se resultados esperado

Observamos que a face preta e branca são muito altas
(agindo quase como corpos negros) $\epsilon_{\text{preta}} = 1$ e $\epsilon_{\text{branca}} = 0,913$
enquanto as outras duas são relativamente pouco emissivas,
com emissividades, $\epsilon_{\text{saca}} = 0,253$ e $\epsilon_{\text{metal}} = 0,102$

Estes resultados não como esperado mas suas
propriedades apresentadas.

→ Na verificação da lei de Stefan-Boltzmann
de quê?

Na segunda parte os resultados não satisfatórios com
erros baixos, 4% para o aquecimento e 3,2% para o arrefecimento

$$\epsilon_{\text{preta}} \approx \epsilon_{\text{branca}} \sim 10 \epsilon_{\text{saca}}$$

$$\epsilon_{\text{saca}} \sim 2 \epsilon_{\text{polid.}}$$