

**Logbook 5- Lei de Arrefecimento de  
Newton(TB1)**

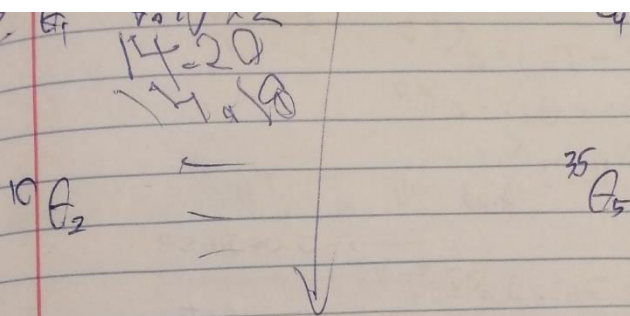
**2021/2022 Laboratórios de Física 1 –**

**PL6 – Miguel Alexandre Teixeira  
Vieira nº202107506 (Grupo III, com  
Fernando Wang)**

- Muito confuso e desorganizado
- Vários gráficos não fazem sentido.
- Não reproduz tabelas de parâmetros dos agentes.
- Tão confuso que não se percebiam os condutores.
- Falta gráfico global de parafina

55%

# - Análise de dados deficiente



continuação Aula 3, sala 019 "Aula Newton"

## Objetivos:

- (1) Verificação experimental da Lei de Newton - que rege a variação da temperatura de um corpo em arrefecimento na atmosfera (ex: parafina; água)
- (2) Determinação da temperatura de solidificação da parafina
- (3) "Potenciometragem da experiência"
- (4) Introdução à aquisição automática de dados

## Método/Passos a seguir:

- esta atividade decorrerá com o uso dum prato térmico, parafina e água (em tubos de ensaio), isso os aquecidos até aos  $100^{\circ}\text{C}$  (por meio de condução térmica ~~de água~~ entre os tubos de ensaio e ~~em~~ um góbalé de água aquecida)
- os  $100^{\circ}\text{C}$ 's são o ponto de ebulição da água a pressão normal, pelo que não é de esperar que a água no góbalé, aquecida, possa transmitir um calor capaz de fazer ultrapassar as temp's das tubos além das  $100^{\circ}\text{C}$  - o tubo de água ~~de~~ arrefecimento do tubo de água deparará primeiramente ao estado líquido e o da parafina no estado líquido ( $pp \approx 60^{\circ}$ ) e, depois, ao sólido.



$T_b = T_a + (T_i - T_a) \cdot e^{-\lambda t}$   
 $\theta_b = \theta_a + (\theta_i - \theta_a) \cdot e^{-\lambda t}$

E<sub>1</sub> 14.15  
 14.20  
 14.29

E<sub>2</sub>

E<sub>3</sub>

Água:  $24.63 + 76.29 \cdot e^{-0.00182t}$   
 Parafina lq.:  $24.63 + (100.72 - 24.63) \cdot e^{-0.000756t}$   
 Parafina Sol.:  $24.63 + (57.3 - 24.63) \cdot e^{-0.000756t}$

100.72 24.63 24.63 1476  
 -0.0007653  
 -0.00182  
 -0.000756  
 56.8  
 (t - 940)

Pouco Reginal!

foram?

-- continuação do modelo --  
 • atingidos os 100°C's - o tempo de aquecimento meios não importam -, os tubos, ~~se~~ fechados com uma tampa, ~~se~~ afastados de qualquer fonte de calor (assimétrica a temperatura ambiental, como a placa térmica, os próprios tubos, lado-a-lado). Assim, a experiência efectivamente começa - o registo das temperaturas (a dechescer) de cada tubo, por uma unidade fixa de tempo

\* a ~~detecção~~ detecção das temperaturas é feita com sensores ~~termométricos~~ termométricos, colocados nos tubos; o registo é feito com a "plataforma" logger Pro (no caso de água) e por um termómetro digital e um cronómetro em separado (registo manual) (o caso da parafina)

\* garantin que as rolhas estão bem-emboscadas ao tubo - evita-se uma maior preocupação para o tubo de água e a sua ebulição, o escape de água - vapor - mais quente e um consequente aquecimento mais rápido

\* garantin que os sensores termométricos não tocam nos tubos - a transferência de ~~de~~ calor para a parafina ocorre primeiramente <sup>o mais</sup> para a parafina próxima do tubo <sup>do</sup> que a parafina central

Interessa o que fez não o que devia fazer!

"garantir" ou "garanti."

## Dados Experimentais

### 1) Tabelas

Tempo(s)	Temp.Ambiente(°C)	Temp.Água(°C)	Tempo(s)	Temp.Parafina(°C)
0	24.30174637	100.7284546	0	94.3
10	24.44759941	100.4367523	20	90.1
20	24.30174637	100.1450424	40	88.5
30	24.2288208	99.19700623	60	87.9
40	24.30174637	98.54066467	80	84.9
50	24.30174637	98.03018189	100	82.4
60	24.37467384	97.15506744	120	80.3
70	24.2288208	96.35288239	140	78.1
80	24.37467384	95.69654083	160	76
90	24.37467384	94.89435577	180	73.9
100	24.37467384	94.6026535	200	72
110	24.37467384	93.50875855	220	70.3
120	24.37467384	93.14412689	240	68.5
130	24.30174637	92.48778534	260	66.9
140	24.37467384	91.75852966	280	65.3
150	24.37467384	91.17511749	300	63.6
160	24.30174637	90.66463471	320	62
170	24.37467384	89.9353714	340	60.4
180	24.44759941	89.49781036	360	59.3
190	24.37467384	88.69562531	380	58.6
200	24.44759941	88.25806427	400	58.1
210	24.37467384	87.67465973	420	57.7
220	24.44759941	87.23709869	440	57.5
230	24.44759941	86.43491364	460	57.3
240	24.08296776	85.92442322	480	57.2
250	24.44759941	85.41394043	500	57.1
260	24.37467384	84.75760651	520	57.1
270	24.52052498	84.75760651	540	57.1
280	24.7393055	83.73664093	560	57.1
290	24.44759941	83.22615814	580	57.1
300	24.52052498	82.64274597	600	57.1
310	24.30174637	82.0593338	620	57.1
320	24.52052498	81.25714874	640	57.1
330	24.52052498	81.18421936	660	57.1
340	24.44759941	80.74666596	680	57.2
350	24.52052498	80.23617554	700	57.2
360	24.52052498	79.3610611	720	57.2
370	24.44759941	79.3610611	740	57.2
380	24.66637802	78.70472717	760	57.2
390	24.52052498	78.4130249	780	57.2
400	24.52052498	77.90254211	800	57.2
410	23.79126358	77.53791046	820	57.1

420	24.52052498	76.95449829	840	57.1
430	24.59345245	76.58986664	860	57.1
440	24.2288208	76.22523499	880	57
450	24.7393055	75.78768158	900	57.1
460	24.44759941	75.27719116	920	56.9
470	24.52052498	74.91255951	940	56.8
480	24.7393055	74.4750061	960	56.6
490	24.52052498	73.96452332	980	56.5
500	24.52052498	73.59989166	1000	56.4
510	24.52052498	73.23526001	1020	56.2
520	24.52052498	72.79769898	1040	56.1
530	24.44759941	72.0684433	1060	55.9
540	24.59345245	71.92258453	1080	55.7
550	24.59345245	71.55795288	1100	55.4
560	24.52052498	71.33917999	1120	55.2
570	24.7393055	70.82868958	1140	54.9
580	24.52052498	70.39113617	1160	54.6
590	23.93711662	70.68283844	1180	54.3
600	24.52052498	69.807724	1200	54
610	24.52052498	69.37017059	1220	53.6
620	24.44759941	69.00553894	1240	53.2
630	24.59345245	68.34919739	1260	52.8
640	25.10393524	68.27627564	1280	52.3
650	24.59345245	67.98457336	1300	51.8
660	24.52052498	67.47408295	1320	51.3
670	24.66637802	67.25531006	1340	50.7
680	24.52052498	66.89067841	1360	50.2
690	24.44759941	66.52604675	1380	49.6
700	24.44759941	66.23433685	1400	49
710	24.59345245	65.8697052	1420	48.4
720	24.44759941	65.50507355	1440	47.9
730	24.44759941	65.21337128	1460	47.3
740	24.44759941	64.92166901	1480	46.5
750	24.52052498	64.70288849	1500	46
760	24.52052498	64.26532745	1520	45.4
770	24.44759941	64.11947632	1540	45
780	24.52052498	63.6819191		
790	23.79126358	63.90069962		
800	24.30174637	63.09851074		
810	24.44759941	62.80680466		
820	24.44759941	62.442173		
830	24.44759941	62.15047073		
840	24.37467384	60.98365021		
850	24.37467384	61.56705856		
860	24.44759941	61.12950134		
870	24.37467384	60.98365021		

880	24.44759941	60.61901856
890	24.44759941	60.32731247
900	24.30174637	60.0356102
910	24.37467384	59.74390411
920	24.59345245	59.5251236
930	24.2288208	59.23342133
940	24.52052498	58.65000916
950	24.7393055	57.70196915
960	24.7393055	58.43123245
970	24.44759941	58.21245194
980	24.37467384	58.0666008
990	24.37467384	57.62904358
1000	24.44759941	57.26441193
1010	24.95808411	57.33733749
1020	24.44759941	56.89978027
1030	24.37467384	56.60807419
1040	24.08296776	56.38929749
1050	24.08296776	56.24344254
1060	24.30174637	56.17051697
1070	24.59345245	55.73295975
1080	24.37467384	55.36832809
1090	24.37467384	55.14955139
1100	24.37467384	55.00369644
1110	24.37467384	54.71199417
1120	24.30174637	54.27443314
1130	24.30174637	54.20150757
1140	24.37467384	53.98273087
1150	24.37467384	53.98273087
1160	24.44759941	53.47224808
1170	24.15589523	53.25346756
1180	24.37467384	52.96176148
1190	24.37467384	52.74298477
1200	24.52052498	52.6700592
1210	24.37467384	52.52420425
1220	24.52052498	52.08664703
1230	24.30174637	52.01372147
1240	24.37467384	51.79494095
1250	24.37467384	51.72201538
1260	24.30174637	51.35738373
1270	24.37467384	51.06568146
1280	24.37467384	51.35738373
1290	24.52052498	50.55519486
1300	24.44759941	50.48226929
1310	24.44759941	50.33641815
1320	24.37467384	50.11763763
1330	24.37467384	49.89886093

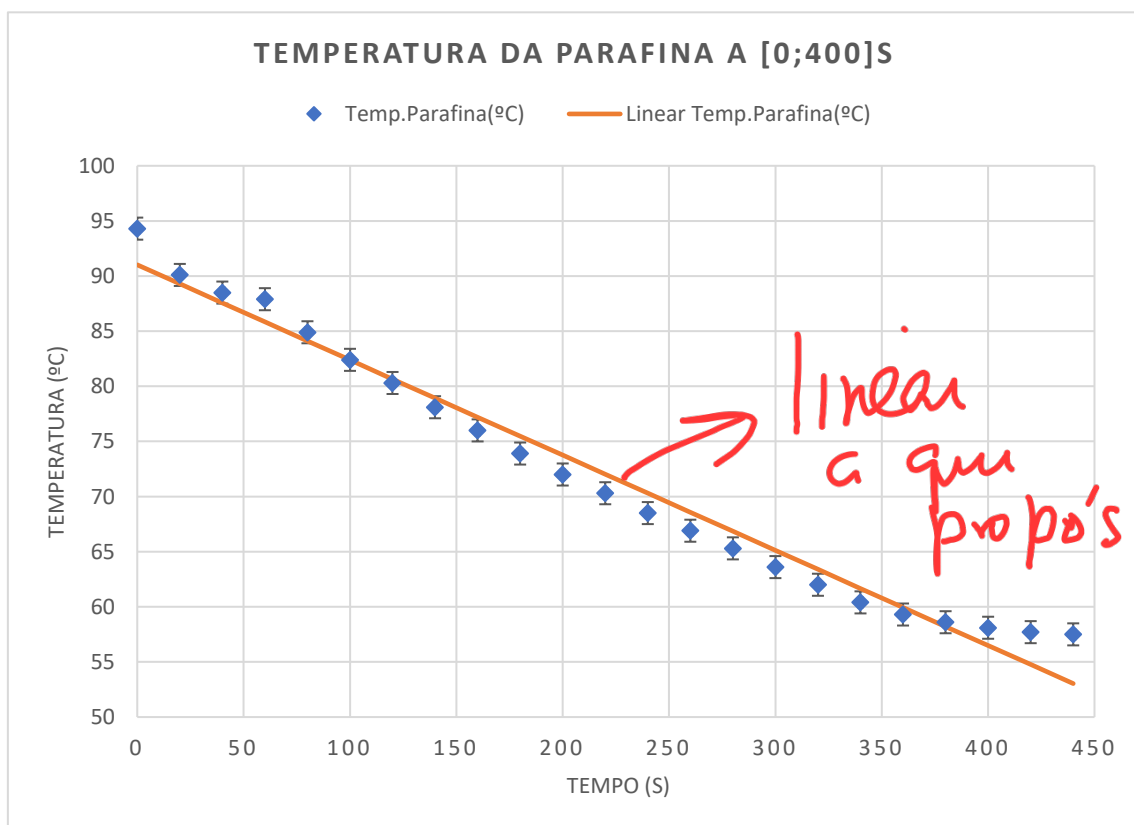
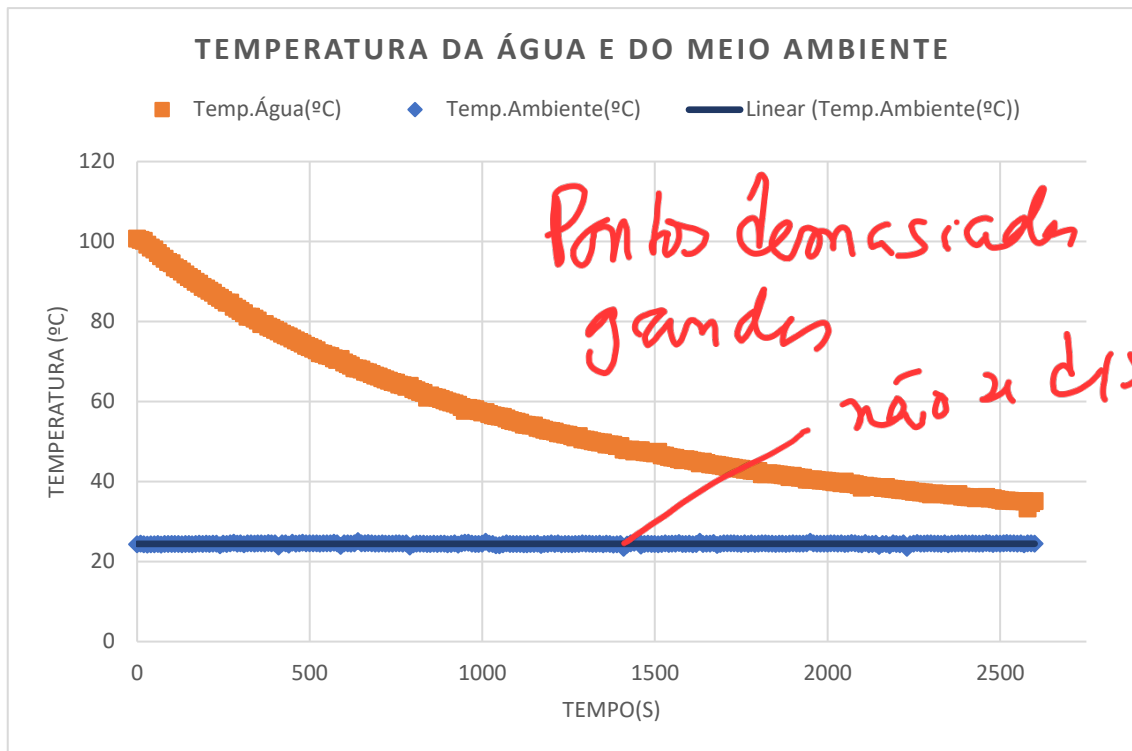
1340	24.44759941	49.75300598
1350	24.30174637	49.75300598
1360	24.44759941	49.31544876
1370	24.37467384	49.31544876
1380	24.2288208	49.24252319
1390	24.30174637	48.87789154
1400	24.37467384	48.87789154
1410	23.42663193	48.0027771
1420	24.2288208	47.85692596
1430	24.59345245	48.0027771
1440	24.7393055	47.56521988
1450	25.24978828	47.7840004
1460	24.01004219	47.85692596
1470	24.37467384	47.34644318
1480	24.44759941	47.27351379
1490	24.37467384	47.20058823
1500	24.37467384	47.05473709
1510	24.30174637	47.41936874
1520	24.37467384	46.5442543
1530	24.59345245	46.47132492
1540	24.37467384	46.17962265
1550	24.44759941	46.0337677
1560	24.44759941	45.96084213
1570	24.66637802	45.59621048
1580	24.37467384	45.37743378
1590	24.37467384	45.59621048
1600	24.44759941	45.45035934
1610	24.30174637	45.23157883
1620	24.37467384	45.01280212
1630	24.95808411	44.5752449
1640	24.37467384	44.93987656
1650	24.44759941	44.64817047
1660	24.44759941	44.35646439
1670	24.66637802	44.28353882
1680	24.15589523	44.13768768
1690	24.37467384	43.99183273
1700	24.52052498	43.8459816
1710	24.52052498	43.70013046
1720	24.52052498	43.62720108
1730	24.52052498	43.48134995
1740	24.44759941	43.26257324
1750	24.37467384	43.18964386
1760	24.52052498	42.97086716
1770	24.37467384	42.97086716
1780	24.52052498	42.75208664
1790	24.37467384	42.67916107

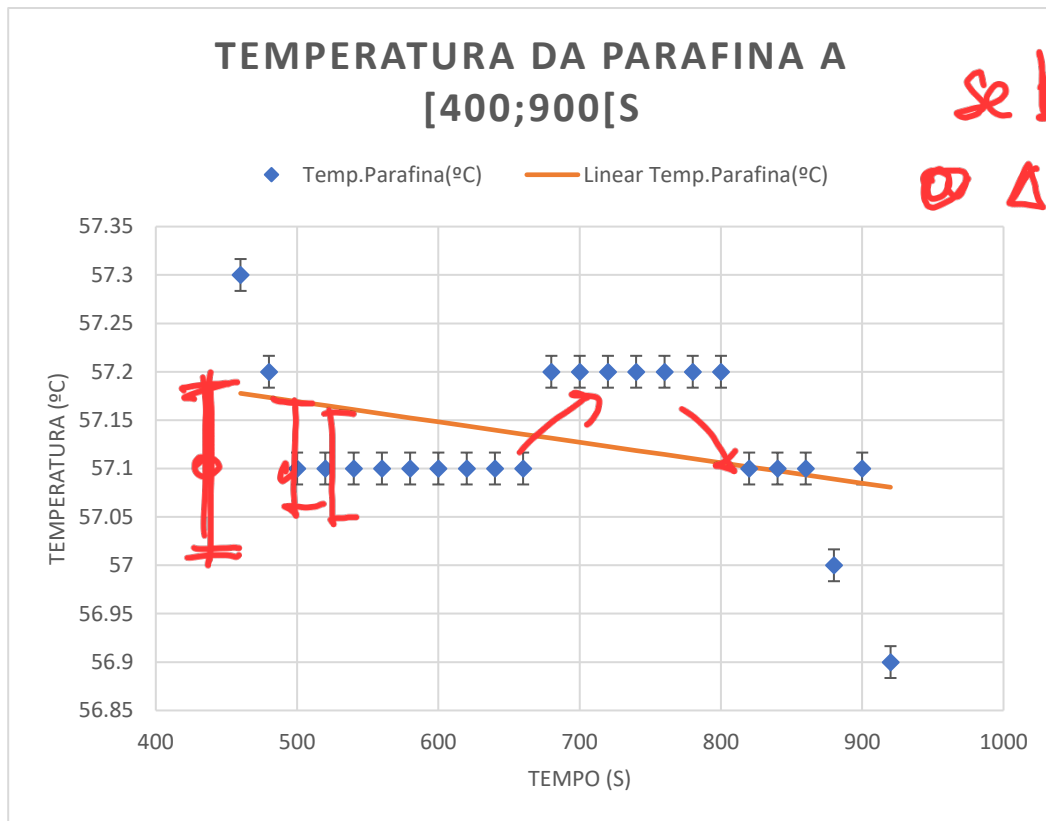
1800	24.44759941	42.6062355
1810	24.52052498	41.8769722
1820	24.52052498	41.8769722
1830	24.44759941	42.09575272
1840	24.44759941	42.02282715
1850	24.37467384	41.8769722
1860	24.44759941	41.73112106
1870	24.44759941	41.58526611
1880	24.37467384	41.51234055
1890	24.44759941	41.14770889
1900	24.52052498	41.43941498
1910	24.44759941	41.14770889
1920	24.44759941	41.00185776
1930	24.44759941	40.92893219
1940	24.52052498	40.49137497
1950	24.95808411	40.49137497
1960	24.52052498	40.56430054
1970	24.44759941	40.4184494
1980	24.44759941	40.27259445
1990	24.44759941	40.27259445
2000	24.44759941	40.19966888
2010	24.52052498	39.98089218
2020	24.52052498	39.83503723
2030	24.44759941	39.83503723
2040	24.59345245	39.61626053
2050	24.37467384	39.98089218
2060	24.44759941	39.47040558
2070	24.66637802	39.54333115
2080	24.52052498	39.32455444
2090	24.37467384	39.10577393
2100	24.30174637	38.52236557
2110	24.66637802	38.95992279
2120	24.30174637	38.81407166
2130	24.37467384	38.74114609
2140	24.44759941	38.66821671
2150	23.93711662	38.66821671
2160	24.37467384	38.37651444
2170	24.37467384	38.66821671
2180	24.08296776	38.23065949
2190	24.52052498	38.15773392
2200	24.37467384	38.08480835
2210	24.30174637	37.93895721
2220	24.59345245	37.86602783
2230	23.42663193	37.86602783
2240	24.30174637	37.7201767
2250	24.44759941	37.42847061



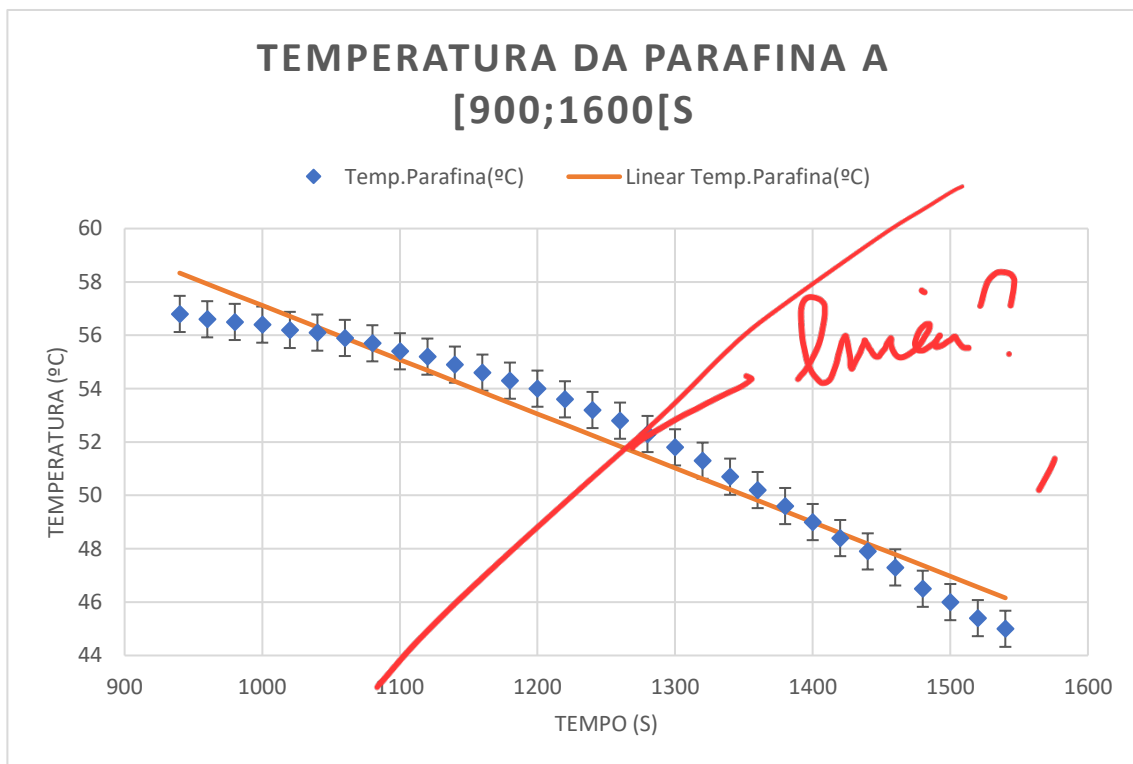
2260	24.66637802	37.42847061
2270	24.44759941	37.28261948
2280	24.44759941	37.28261948
2290	24.59345245	37.06383896
2300	24.52052498	36.77213669
2310	24.44759941	37.06383896
2320	24.44759941	36.99091339
2330	24.37467384	36.84506226
2340	24.52052498	36.91798782
2350	24.30174637	36.69921112
2360	24.44759941	36.55335617
2370	24.44759941	36.55335617
2380	24.52052498	36.91798782
2390	24.44759941	36.26165009
2400	24.59345245	36.18872452
2410	24.44759941	36.11579895
2420	24.52052498	36.11579895
2430	24.44759941	35.82409287
2440	24.44759941	35.89702225
2450	24.44759941	35.96994782
2460	24.66637802	36.18872452
2470	24.52052498	35.7511673
2480	24.37467384	35.82409287
2490	24.52052498	35.60531616
2500	24.44759941	35.45946121
2510	24.52052498	35.16775894
2520	24.66637802	35.31361008
2530	24.52052498	35.16775894
2540	24.52052498	35.09483337
2550	24.44759941	35.09483337
2560	24.52052498	35.09483337
2570	24.30174637	35.02190399
2580	24.52052498	33.27167511
2590	24.52052498	34.65727615
2600	24.44759941	35.09483337

## 2) Gráficos simples





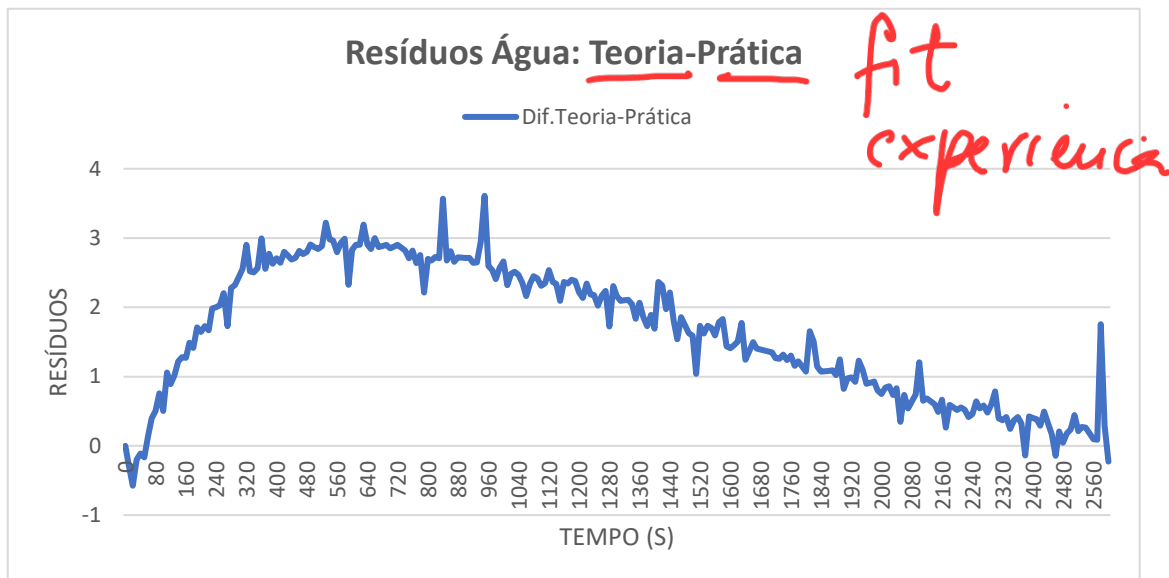
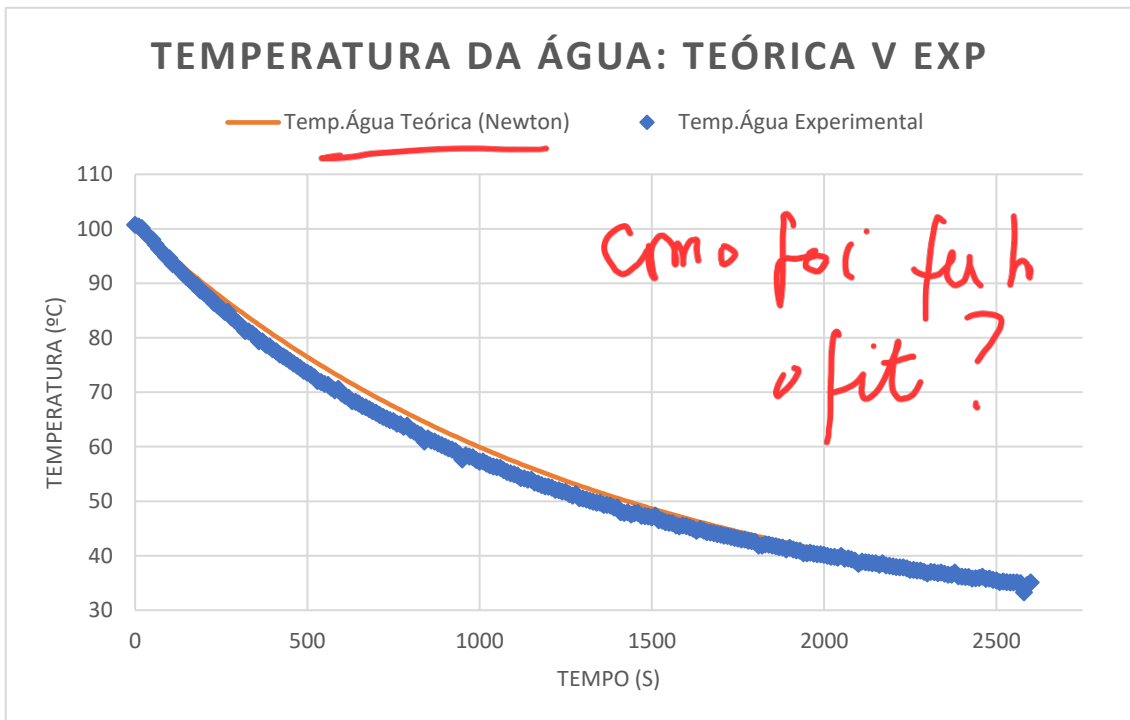
se bem lembrar  
 $\Delta t = 0.1$   
 barras de  
 erro  
 de mesal  
 pequena



linear?

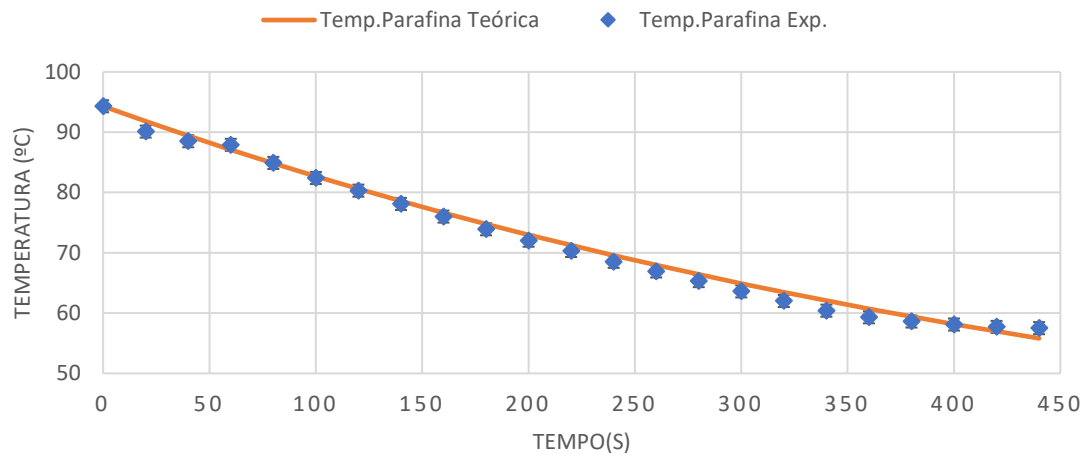
## Análise de Dados

1ª Vertente

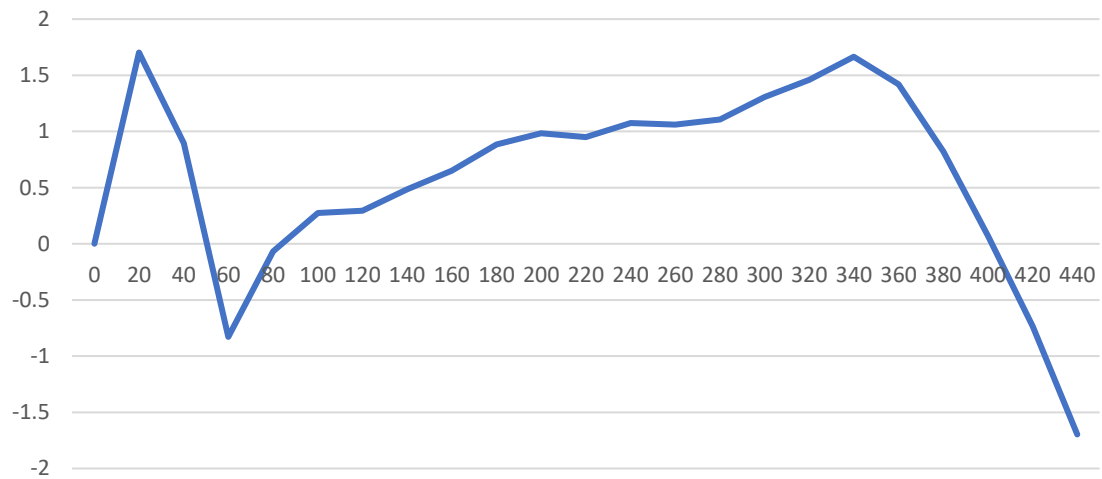


temos ajustar nossa gama de temperatura?

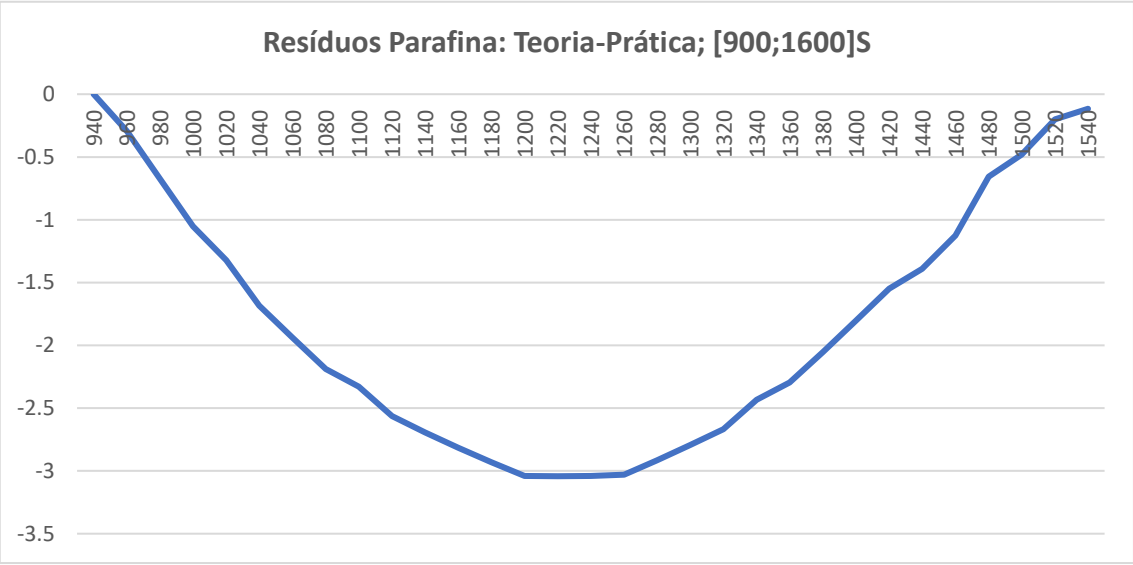
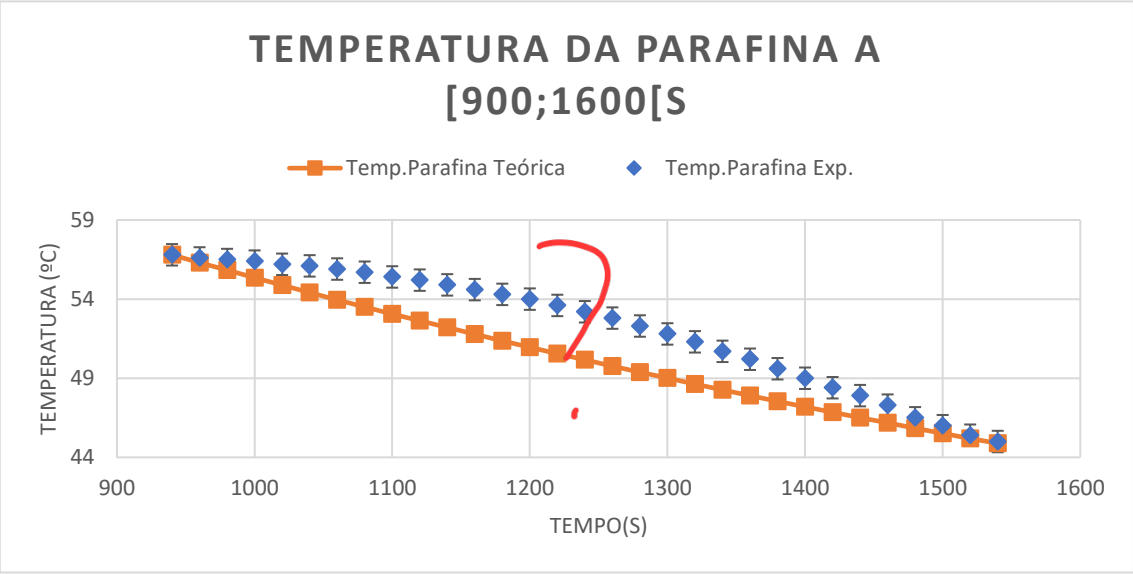
## TEMPERATURA DA PARAFINA A [0;400]S



## Resíduos Parafina: Teoria-Prática; [0;400]S

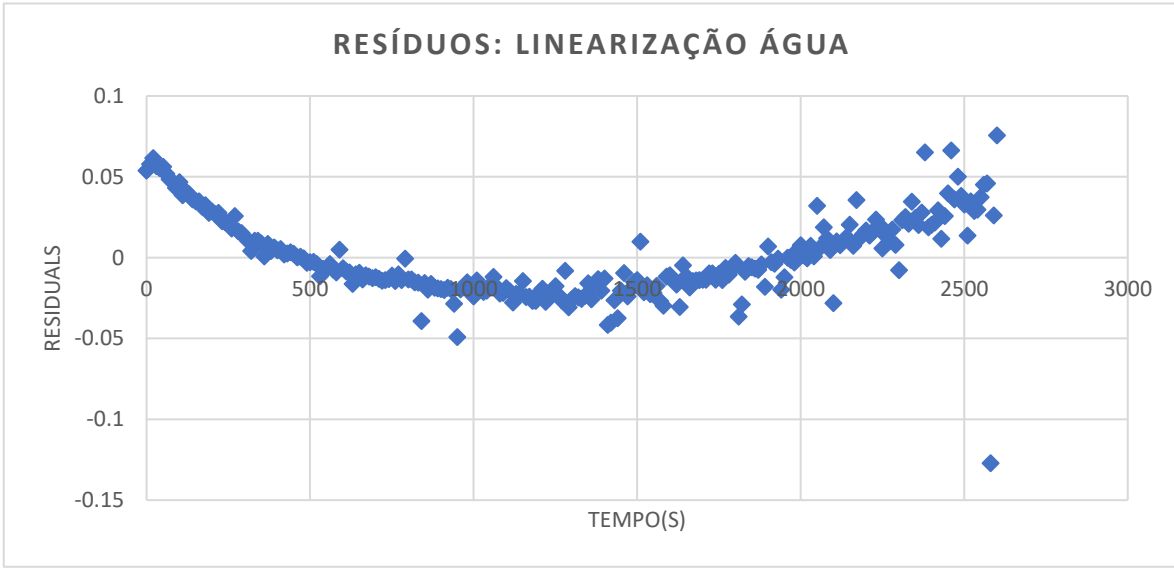
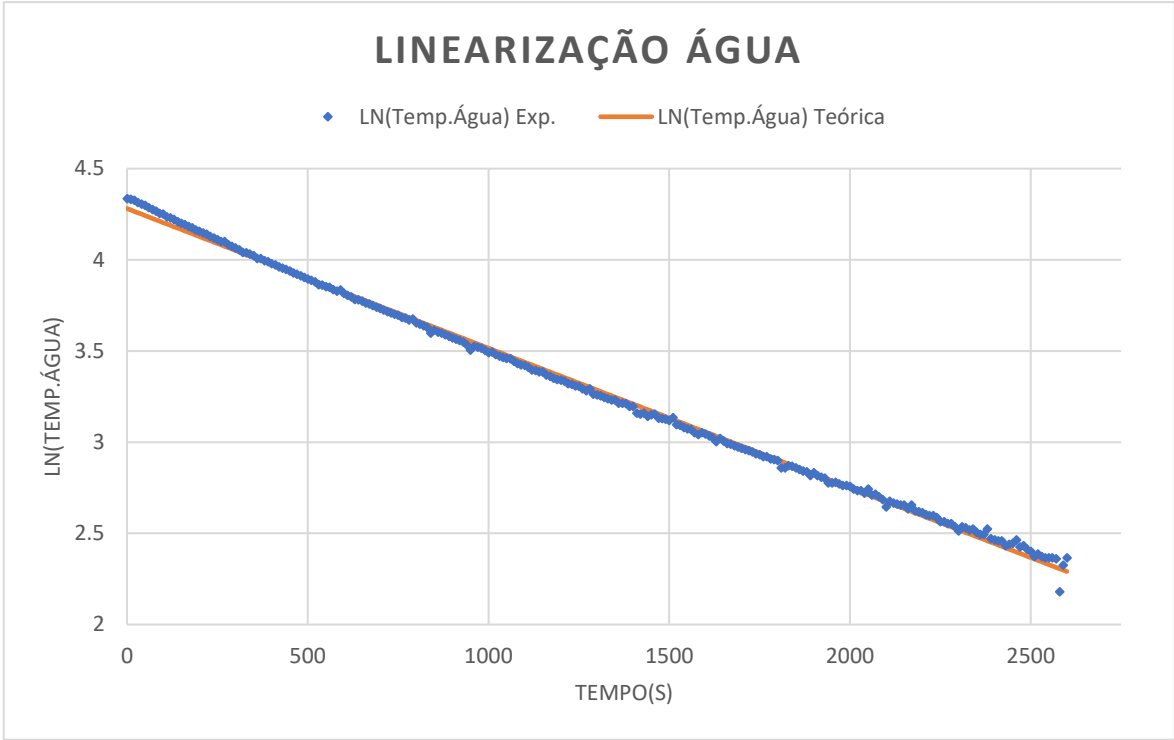




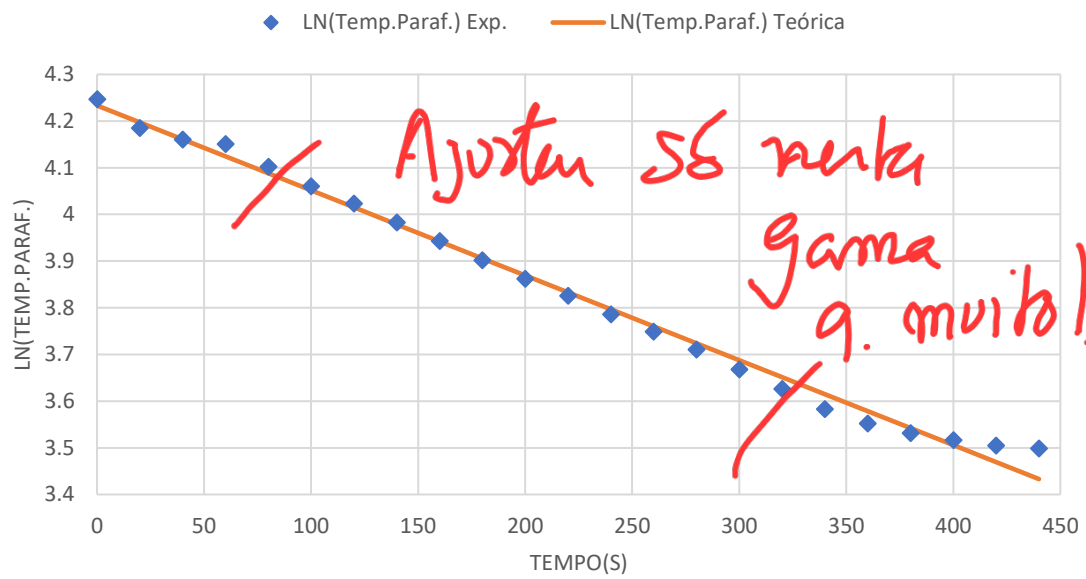


Análise de Dados

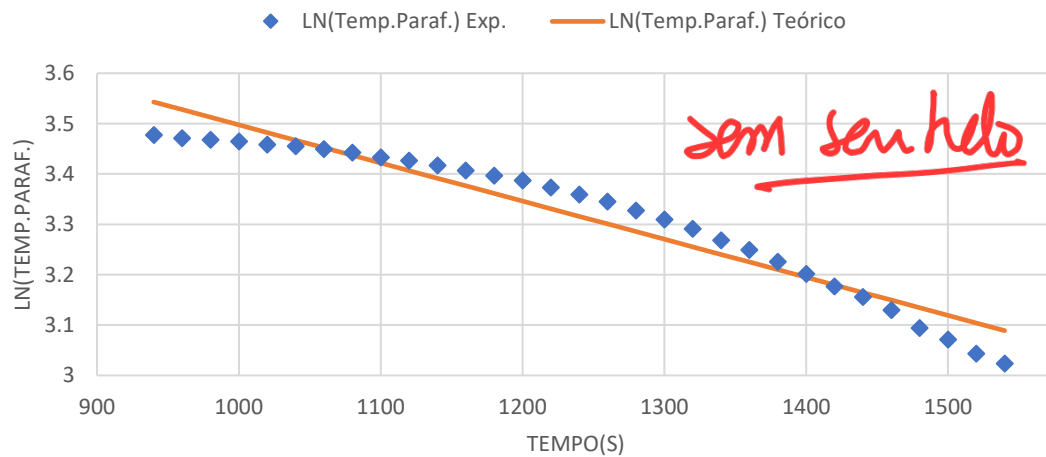
2ªVertente



## LINEARIZAÇÃO PARAFINA [0;400]S



## LINEARIZAÇÃO PARAFINA [900;1600]S



Muitos gráficos não fazem sentido.

## Dados experimentais:

- $(\rho/45) = 0.84 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $c(\text{parafina}) = 3260 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$   
 $67\text{C} - 840 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$
- (1) Tabelas de dados
  - (2) gráficos simples c/dados
  - (3) gráficos de resíduos
  - (4) gráfico Ambulante + gráfico Ambulante Resíduos
  - (5) gráfico LN(água)
  - (6) gráficos trapezoidais Parafina
  - (7) gráficos trapezoidais LN(Parafina)

## Análise dos Dados:

(2), (3), (4), (5), (6), (7), (8) - importantes

~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~

$$T(\text{qualquer substância}) = \frac{1}{\text{declive}} = \frac{1}{m}$$

$$u^2(\text{g}) = u^2\left(\frac{1}{m}\right) = u^2(\text{m}^{-1}) \rightarrow \frac{u^2(\text{m}^{-1})}{(\text{m}^{-1})^2} = 0 + (-1)^2 \frac{u^2(\text{m})}{\text{m}^2}$$

$$\rightarrow u(\text{m}^{-1}) = u(\text{g}) = \frac{1}{-1} \sqrt{\frac{u^2(\text{m})}{\text{m}^2}} = - \frac{u(\text{m})}{\text{m}}$$

$$\rightarrow \text{Água: } u(\text{g}) = \frac{1}{(-0.000765374)^2} \rightarrow \text{desconheço a função para isto, especifica no lee}$$

de

ou seja, logo  $u(\text{g}) = ?$

→ A Parafina líquida e sólida: a mesma divisão perdure  
 $\approx 5$ ; tempo de relaxação térmica (segundos)

$u(\theta_i - \theta_a) = \text{sensibilidade} = 0.1^\circ \text{C}$  (a sensibilidade do  
 $\theta_i$ , temperatura inicial "loggm Pno / o sensor associado  
 $\theta_a$ , temperatura final / ambiente é desconhecido)



## Observações e Conclusões

sejam  $\theta_{\text{quebra}}(t)$  e  $\theta_{\text{quebra}}(t)$  com o comprimento  $\theta_i - \theta_0 + (\theta_i - \theta_0)^2$

- (2) Regge, Transfere liq, & perfura sólida, e o que significa com?
- $\gamma_A \neq \gamma_B = 1$  A interface mais rápida?

3) Solidificação, parafina

Onde estão os dados  
dos apêndices

- Relativas a dados concretos para o ~~Aquecimento~~ <sup>aquecimento</sup> da Água:

Dados "linearização (logaritmos) da S<sub>g</sub>" →

Dados "linearização (logaritmos) da equação"  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  "ordenada" =  $\ln(\theta_i - \theta_a) \approx 4.28 \rightarrow \theta_i - \theta_a \approx e^{4.28} \approx 72.2 \pm 0.1^\circ \text{C}$  1-7  
 Usa "linear".

8 lembrar que as dimensões das folhas foram feitas com a

$$\ln(\theta_t - \theta_a) = \ln(\theta_i - \theta_a) - \frac{1}{\tau} t$$

ordenada      declive

$$\rightarrow \text{decliv} = -0.000765 = -\frac{1}{3} \rightarrow \tilde{y}_{\text{eq}} \approx 13075$$

- Relativo — ao amolecimento da Parafina:

É conhecido que as transições de estados físicos identificam-se pela mistura de dois estados da substância e de uma (necessitando essa mudança de energia extra para quebrar ligações intermoleculares), causando uma descontinuidade de variação de temperatura dessa substância.

Essa situação é suspeita de ter acontecido no arref. da parafina: (1) estado líquido a  $94^{\circ}\text{C}$ , estado físico a  $45^{\circ}\text{C}$ ; (2) para  $[400; 900]\text{s}$ , a temperatura mal variou (em relação ao "antes e ao depois") - nos gráficos  $\Theta(t)$  de parafina isso é batido de clavo.

Daí, podemos identificar também o estado físico de líquido em  $[0,100]^\circ\text{C}$  e sólido em  $[500,1600]^\circ\text{C}$  - mínimos mais específicos nos gráficos em tabelas de dados.

Também podemos concluir a solidificação de parafina como  $57.1 \pm 0.1^\circ \text{C}$ .



Para posterior ~~ver~~ Como coleção de dados extra para posterior Verificação da "Lei de Newton" e com posterior de relaxações, determinamos também:

Para fina Líquida,  $[0; 440]$  s: gráfico  $\theta(t)$ ; linearização de  $\theta(t)$ ;

$$\rightarrow \text{"ordenada"} = \ln(\theta_i - \theta_a) \approx 4.23 \rightarrow \theta_i - \theta_a = e^{4.23} \approx 68.7^\circ \text{C}$$

$$\rightarrow \text{"declive"} = -1/\tau \approx -0.00182 \rightarrow \tau \approx 549 \text{ s}$$

Para fina "Transição",  $[146; 920]$  s: gráfico  $\theta(t)$ ; linearização desnecessária - pois é intuitivo que este "atrasamento" não obedeceria à equação  $\frac{d\theta}{dt} = -\frac{\lambda}{mc}(\theta - \theta_a)$ , a Lei de Newton

Para fina Sólida,  $[940; 1540]$  s:  $\theta(t)$ ; linearização  $\theta(t)$

$$\rightarrow \theta_i - \theta_a = e^{4.25} \approx 70.1^\circ \text{C}$$

$$\rightarrow \tau \approx -(-0.000756)^{-1} \approx 1323 \text{ s}$$

- Comparação de relaxações:  $\tau_{\text{água}} = 1307 \text{ s}$ ;  $\tau_{\text{p. líq}} = 549 \text{ s}$ ;  $\tau_{\text{p. sól.}} = 1323 \text{ s}$ ;  $\tau_{\text{água}} > \tau_{\text{p. sól.}} > \tau_{\text{p. líq}}$ ; da substância que oferece mais resistência para a mais rápida (se desconhecidas as incertezas, não podemos com firmeza afirmar qual é maior ou menor)

depende da massa

- Repetibilidade da solidificação e  $\tau_{\text{água}}$ :

Nossa Exp.

$$\tau_{\text{água}} \approx 1307 \text{ s}$$

$$\theta_{\text{solidif}} = 57.1 \pm 0.1^\circ \text{C}$$

Outras Exp's

$$A: \tau_{\text{água}} = (26.0549 \pm 0.0055) \text{ min}$$

$$\times 60 \text{ s} = 1562.09 \pm 0.33 \text{ s}$$

B:  $\theta$  desconhecida

B:  $\tau_{\text{água}}$ , desconhecida, mas

"coincide", de acordo com a aluna

$\theta$ , o mesmo caso

\* sobre  $\tau_{\text{p. fina}}$ , ou não quantificaram, ou não me divulgaram os valores

Ultimamente, pela falta de dados e incertezas por determinarem, não é possível

### ... continuação de "Repetibilidade" ...

Ultimamente, não é possível comentar a Repetibilidade de experiência, relativamente a  $\sigma$  e  $\theta$ , por falta de dados e incentivos a determinar, mas o provável é, sem ser repetível.

### • Verificação da Lei de Newton de Aquecimento:

A respectiva Lei de Newton tem múltiplas variantes com as quais podemos usá-las para  $\sigma$  e  $\theta$  (a lei), compará-la com os resultados experimentais.

Tais variantes são:

(1) a linearização de  $\theta(t) = f(t)$  <sup>experimental</sup> por  $\ln(\theta(t) - \theta_a)$   
 $\ln(\theta(t) - \theta_a) = \ln(\theta_i - \theta_a) - \frac{1}{\tau} t$ ; caso esta seja afirm.,  
- e um gráfico de resíduos a acompanhar; o que for um "grande" e "pequeno" ~~resíduo~~ <sup>resíduo</sup> ficará por definir  
- então o aquecimento será descrito pela Lei.

(2) comparar diretamente o  $\theta(t) = f(t)$  <sup>experimental</sup> com  $\theta(t) = \theta_a + (\theta_i - \theta_a) \cdot e^{-t/\tau}$  (está no PDF da atividade, "Introdução Técnica"); havendo proximidade aceitável, o aquecimento será descrito pela Lei; o que é um resíduo "aceitável" ou "inaceitável" ficará também dependente da investigação e da aparência das curvas do  $\theta(t)$  exp. e do  $\theta(t)$  técnico.

Nós, ultimamente, avaliámos o comportamento da água e de parafina líquida, congruentes com a Lei.

Já no caso da parafina sólida, esta parece ~~se~~ divergir mais do modelo, em relação às outras duas - a corroborar esta análise, temos o gráfico de resíduos / "dif. Técnica-Prática", que nos ilustra um gráfico ~~de~~ <sup>de</sup> ~~chdenado~~ <sup>de</sup> ~~uma~~ <sup>uma</sup> parábola de concavidade positiva. O porquê de tal desobediência não sabemos desenvolver.