

• Gráficos com pontos demasiado grandes (deficiente ver ajunte)

(70)

• Duas linearizações mas não

Z-série - Dígio Horáris, Grupo 8
fri dar que gomas esfolhem
nem as mostram no gráfico

Trabalho 1B - Lei de Newton - Estudo do arrefecimento da parafina (solidificação)

- Deve ter levado em conta variáveis

Objetivos da experiência: de fom saber ambiente

Por exemplo corrigindo a curva de

- Verificação experimental da lei de Newton que a variação da temperatura de um corpo em arrefecimento na atmosfera pura e água;

- Determinação da temperatura de transição de fase líquido / sólido da parafina;

- Parâmetrização da experiência, tendo em vista o ajuste pelo método dos mínimos quadrados.

- Não desviam com medir θ_f de parafina

Procedimento experimental:

Materiais usados: 2 tubos de ensaio com parafina e água (individualmente).

gobêl de vidro contendo água

suportes

aquecedor de disco

medidor de temperatura

sensores de temperatura

recipiente para transportar água

Passo:

- colocar as duas amostras (tubos de ensaio com água e parafina) dentro do gobêl de água a aquecer através do disco elétrico.

NOTA: Primeiramente, teremos de encher o gobêl de água, ligar o aquecedor, colocar os dois tubos em simultâneo (antes disso colocar a mica que tem dois buracos sobre o gobêl, que irá depois tapar os tubos para minimizar a evaporação excessiva).

Observações importantes:

- a secção em que se efectua o aquecimento deve estar de um lado da placa de separação de madeira e do outro lado a secção onde se processa / regista o aquecimento dos materiais contidos pelos tubos de ensaio.

- Antes de iniciar o registo e o aquecimento, preparar o sistema de aquisição automática (software "logger Pro")
 - Assegure o registo automático da temperatura ambiente durante toda a experiência, assimilando no logbook o instante correspondente ao inicio do registo.
 - Para garantir o registo adequado da temperatura ambiente, é crucial a disposição especial da tripla "água, parafina e sensor da temperatura ambiente".
-
- Depois do aquecimento simultâneo da água e da parafina, observar atentamente o processo de arrefecimento no caso da parafina e registar os ocorrências observadas.
 - Aquecer até ser atingida a temperatura máxima da água líquida do tubo de ensaio (chegar aos 105° , temperatura de ebulição da água);
 - Após isso, retirar o tubo de ensaio do banho de aquecimento através dos suportes de cada um e colocar um em cada extremidade da mesa, intercalados pelo termômetro que registra a temperatura ambiente (temperatura tem de ser registada ao longo de toda a experiência).
 - Assegurar que os rolos estojam colocados na tubulação de ensaio e que a sondas termométricas tem a ponta bem no interior da água e não encostada ao vidro.
↳ também se aplica na parafina.
 - A partir deste ponto, proceder aos registos de dados utilizando o software "logger Pro" (previamente preparado).

↓
Observar o protocolo para preparar o suprimento

- No mesmo momento em que a parafina é retirada do goteleiro e é passada na mesa deve-se usar um cronómetro desde o momento em que é passada até ao final da experiência (totalmente fundida).

↓
Início da experiência:

- Coloquei os dois tubos de ensaio (parafina e água) no goteleiro de água.
- Verifiquei no programa "logger Pro" se está a medir correctamente a temperatura da água (temperatura 1) e a temperatura ambiente (temperatura 2) para além do tempo desde o inicio da experiência.

- Comecei a ligar o aquecimento do gobelete.
- Esperei até que a temperatura do água chegue aos 100°C.
- Retirei os dois tubos de ensaio do gobelete através do respetivo suporte e coloquei-os lado do gobelete (algo que não deveria ser feito).

- A partir do momento que se passou os suportes na mesa, longe do gobelete aquecido, comecei a registar com o auxílio de um cronómetro o valor da temperatura da parafina de 10 em 10 segundos.

NOTA: Durante o facto de termos posto o tubo de ensaio contendo a parafina para dentro do gobelete, conseguimos a medição da variação da temperatura mais ou menos 1 minuto depois de retomarmos de dentro do gobelete.

NOTA: os dados registados da variação da temperatura da parafina foram inseridos diretamente no excel

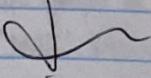
- Observei como é dada uma variação de temperatura muito acentuada, devido à diferença entre a temperatura da parafina dentro do gobelete (100,6°) e a temperatura ambiente ($\approx 24^\circ$).

- Esta variação vai sendo cada vez menor à medida que a temperatura da parafina se aproxima à temperatura ambiente ($\approx 24,3 - 24,4^\circ$).

- Observei também o processo de solidificação da parafina ao longo do tempo (do estado líquido para o estado sólido).

- $T(\text{parafina}) = 45,0^\circ$ em $t \approx 25:23$ min

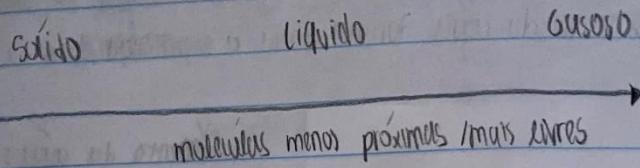
- $T(\text{parafina}) = 43,5^\circ$ em $t \approx 16:29$ min \rightarrow instante que paramos de anotar o valor da temperatura da parafina.


Nas registações para temperaturas mais próximas do ambiente ($\approx 24^\circ$) parafina chegou perto dessa temperatura, a variação da temperatura é muito lenta.

Outros recolhidos através do programa logger pro foram exportados para excel e transferido para uma planilha que trouxemos de casa.

Alegorica teorie relevante pentru experientiala:

estudos do material: sólido, líquido, gasoso



- Para uma mudança de fase ocorrer é necessário fornecer energia para quebrar ligações (ex. estado sólido \rightarrow estado líquido)

No entanto, para o processo de solidificação ocorrer é necessário remover calor (Q):

$$Q = \pm m L_f, \quad q = \text{variable der enthalpie}$$

NOTA: Durante a mudança de fase, a temperatura a que o líquido se solidifica, Θ_f , permanece constante.

- Lei de Arrefecimento de um corpo:

- Quantidade de calor que um dado corpo liberta para o exterior, na unidade de tempo.

$$\frac{dq}{dt} = -\lambda(\theta - \theta_0), \text{ unde } \theta = \text{temperatura numai de la instant},$$

$\theta_0 = \text{temperatura finală};$

$\lambda = \text{coeficient de}$

Também: $\frac{dQ}{dt} = -C \frac{dT}{dt}$, sendo (C = capacidade térmica do sistema)

pura siferaus liquidus e
solidos

liberação de calor → diminuição de temperatura do corpo

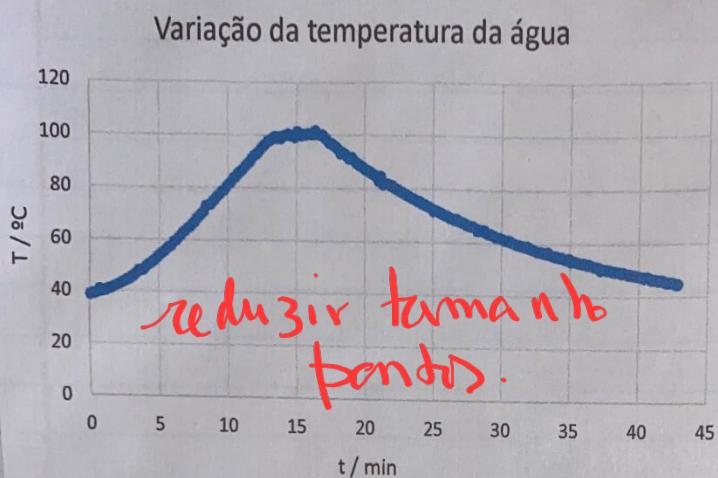
Pura sistemas gaseosos:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\lambda}{mc} (\alpha - \alpha_{eq}) \text{, sendo } \tau = \frac{mc}{\lambda} \text{ e } \frac{d\alpha}{dt} = \frac{\gamma}{\tau} (\alpha - \alpha_{eq}), \text{ } \tau = \text{tempo de relaxação térmica do sistema}$$

Análise de dados:

Através dos dados retirados através do programa do computador

Gráfico da variação da temperatura da água durante toda a experiência:



Aquecimento da água:

$$(38,96^\circ - 100,51^\circ)$$

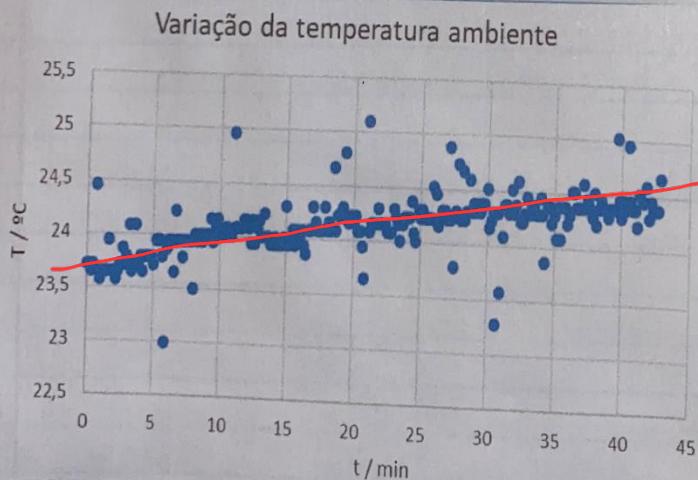
do inicio do aquecimento até
16,83 min

Arrefecimento da água:

$$(100,51^\circ - 45,01^\circ)$$

de 16,83 min até ao final
da experiência (42,83 min)

Gráfico da variação da temperatura ambiente durante toda a experiência



Temperatura ambiente

varia de $23,5^\circ$ a
 $24,5^\circ$ (aproximadamente)

aumento lento
da temperatura
ao longo
da experiência

houve um drift, não devia
ter feito a média dos valores
da temperatura

Temperatura ambiente:	
Média	24,15334
Desvio-padrão	0,2895851
Incerteza	0,0180638

④ pode ter haver com o aumento da temperatura
ambiente furo da sala de aula.

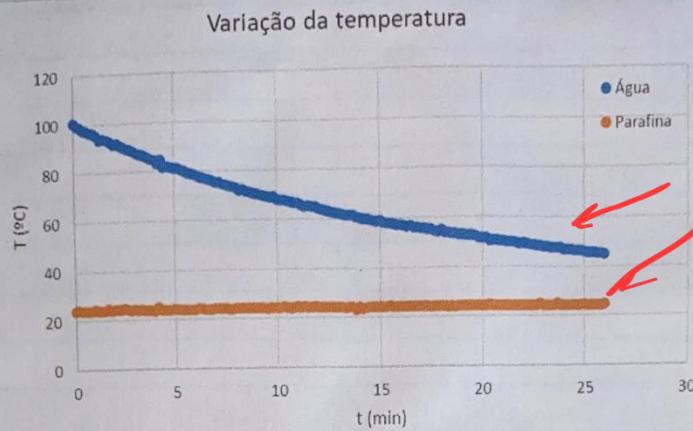
Regressão Linear
é o adequado

Um vez que houve mais 50 medições:

$$T_{\text{ambiente}} = (24,753 \pm 0,018)^\circ\text{C}$$

1. Verificações da lei de arrefecimento de um corpo - lei de Newton

Como apenas queremos estudar o processo de arrefecimento, eliminamos a envoltura os dados do gráfico anteriormente apresentado, para a variação da temperatura para a água e a temperatura ambiente.



para hora
doméstica
grande

Tabela de dados.

Tabela / água			
t (s)	$\theta (\circ)$	$\theta_0 \pm u(\theta_0)$	$(\theta - \theta_0) \pm u(\theta - \theta_0)$
0	100	50,50967	$\theta = 24,1533$
0,1666667	99,488708	75,33536850	4,335411
0,3333333	98,686523	74,53318344	4,311244
0,5	97,446777	73,29343734	4,294471
0,6666667	97,227797	73,07465683	4,291481
0,8333333	96,425804	72,27246414	4,280443
1	95,8424	71,68905960	4,273382
1,1666667	95,186058	71,03271804	4,261406
1,3333333	93,289978	69,13663803	4,236084
1,5	93,727751	69,57419143	4,242393
1,6666667	93,144127	68,99078689	4,23397
1,8333333	92,414864	68,26152359	4,223346
2	91,46662	67,31347976	4,209360
2,1666667	91,904381	67,75104080	4,215398
2,3333333	90,810486	66,65714584	4,199562
2,5	90,008293	65,85495315	4,187454
2,6666667	89,351959	65,1981923	4,177438
2,8333333	88,841476	64,68813644	4,169578
3	88,258064	64,10472427	4,160518
3,1666667	87,528801	63,37546096	4,149076
3,3333333	87,018318	62,86497818	4,149082
3,5	86,507835	62,35449539	4,132835
3,6666667	85,924423	61,77108322	4,123435
3,8333333	85,268089	61,11474929	4,117252
4	84,611755	60,45841537	4,101958
4,1666667	83,080299	59,92695938	4,076298
4,3333333	84,757607	59,00426651	4,043465
4,5	81,694702	57,54136215	4,052504
4,6666667	82,059334	57,90599380	4,058820
4,8333333	81,840553	57,68721328	4,055035
5	81,33007	57,17673050	4,046147
5,1666667	81,257149	57,10308074	4,044870
5,3333333	80,382034	56,22869430	4,029427
5,5	79,944473	55,7911327	4,021615
5,6666667	79,361061	55,20772110	4,011102
5,8333333	79,069359	54,91601883	4,005805
6	78,413025	54,25968490	3,9937815
6,1666667	77,829613	53,67627273	3,9829711
6,3333333	77,53791	53,38457046	3,9775218
6,5	76,954498	52,80115829	3,9665331
6,6666667	76,662796	52,50945602	3,9609933

14,5	59,525124	35,37178360	3,5659144
14,666667	59,306347	35,15300689	3,5597102
14,833333	59,104641	34,86130081	3,5513774
15	59,087566	34,93422638	3,553467
15,1666667	58,431232	34,27789245	3,5345006
15,333333	58,212452	34,05911194	3,5280976
15,5	57,920746	33,76740585	3,519496
15,6666667	57,556118	33,40277801	3,5086391
15,833333	57,337337	33,18399749	3,5020678
16	57,337337	33,18399749	3,5020678
16,1666667	56,898778	32,74644027	3,4887943
16,333333	56,608074	32,45473419	3,4798463
16,5	57,045631	32,89229141	3,4932383
16,6666667	56,170517	32,01717697	3,4663225
16,833333	55,95174	31,79840027	3,459416
17	57,176109	31,43376861	3,4478827
17,1666667	55,587109	31,43376861	3,4478827
17,333333	55,149551	30,99621139	3,433865
17,5	55,149551	30,99621139	3,433865
17,6666667	54,639065	30,48572454	3,4125258
17,833333	54,347363	30,19402252	3,407644
18	54,78492	30,63157974	3,420315
18,1666667	53,691025	29,53768478	3,3856669
18,333333	53,373128	29,61061303	3,3881328
18,5	53,545174	29,39183365	3,3807169
18,6666667	52,326393	29,17305313	3,3732454
18,833333	53,034687	28,88134704	3,363190
19	52,961761	28,80842158	3,3606768
19,1666667	52,811591	28,66257034	3,28155921
19,333333	52,451279	28,29793869	3,342789
19,5	52,451279	28,29793869	3,342789
19,6666667	52,086647	27,93330389	3,3298198
19,833333	51,64909	27,49574981	3,3140314
20	51,503239	27,34989868	3,3087128
20,1666667	51,357384	27,20404373	3,303356
20,333333	50,482269	26,32892929	3,2706683
20,5	50,723975	26,62003537	3,2816867
20,6666667	50,628124	26,47478424	3,2761927
20,833333	50,336418	26,18307815	3,2651133
20,9875667	50,036418	26,18307815	3,2651133
21,1666667	50,044712	25,89137207	3,2530908
21,333333	49,898861	25,74552031	3,2482607
21,5	49,752006	25,59966598	3,2425793
21,6666667	49,532429	25,38088928	3,2339965
21,833333	49,315449	25,16210876	3,2253392
22	49,388378	25,23038124	3,2282334
22,1666667	49,027347	24,87046469	3,2136786
22,333333	48,73204	24,57870041	3,2018802
22,5	48,586189	24,43284927	3,1959285
22,6666667	48,440334	24,28699424	3,189941
22,833333	48,221558	24,06821762	3,1808922
23	48,148632	23,99529205	3,1787576
23,1666667	48,029852	23,77651153	3,1686982
23,333333	47,784	23,63066040	3,162545
23,5	47,419369	23,46020784	3,1469943
23,63066040		23,2602874	3,1469943
23,833333	47,492294	23,17211379	3,0988363
23,8395431		23,08750213	3,082254
24,06821762		23,04075021	3,0653922
24,14287048		23,01579005	3,0678774
24,333333	46,690105	23,16994491	3,0619855
24,46741325		23,1798492	3,053939
24,6666667	46,71325	23,23238769	3,0412976
24,833333	46,325474	23,29238769	3,0412976
24,89229141		23,29238769	3,0412976
25,0606667	45,59621	23,16994491	3,0619855
25,23038124		23,16994491	3,0619855
25,4377434		23,16994491	3,0619855
25,6066667	45,523285	23,16994491	3,055137
25,833333	45,085728	23,09238769	3,0412976
26	45,012802	23,09238769	3,0378072

Para usar o método dos mínimos quadrados de uma tendência linear "y = mx + b" temos de linearizar a seguinte equação:

$$\theta(t) = \theta_a + (\theta_i - \theta_a)e^{-\frac{t}{\tau}}, \text{ sendo } \tau = \text{tempo de relaxação térmica.}$$

Assim:

$$\theta(t) = \theta_a + (\theta_i - \theta_a)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{e} \quad \theta(t) - \theta_a = (\theta_i - \theta_a)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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

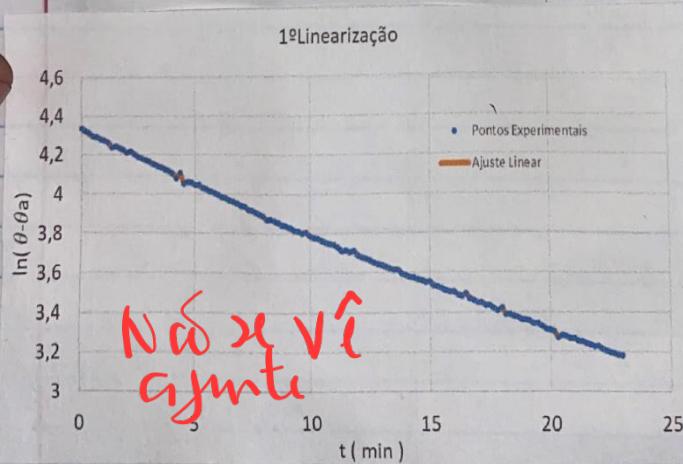
$$\ln(\theta(t) - \theta_a) = -\frac{1}{\tau}t + \ln(\theta_i - \theta_a), \text{ sendo } m = -\frac{1}{\tau}; b = \ln(\theta_i - \theta_a)$$

m b

Eixo y: $\ln(\theta(t) - \theta_a)$ - valor já introduzido na tabela anterior

Eixo x: t (min)

Gráfico da linearização:



Ajuste linear

$$\begin{array}{l|l} m & -0,04986 \\ sm & 0,00017 \\ R^2 & 0,9994 \end{array} \begin{array}{l|l} b & 4,79971 \\ sb & 0,00224 \\ sy & 0,01326 \end{array}$$

Legendas:

m = declive

b = ordenada na origem

sm = desvio padrão de m

sb = desvio padrão de b

sy = desvio padrão do eixo

R^2 = fator de regressão linear

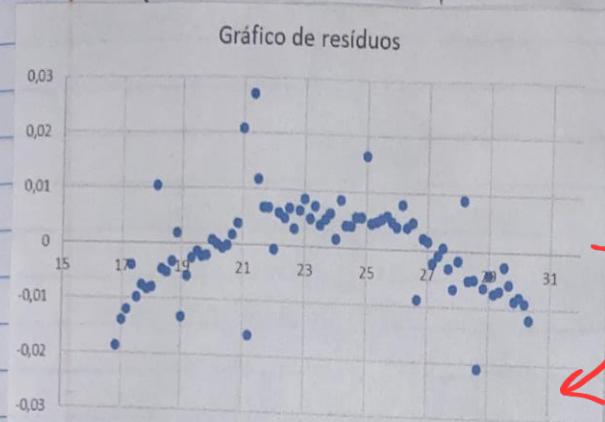
Notar que o instante inicial foi quando começou o processo de arrefecimento ($t = 76,93$ min).

NOTA: Não é necessário calcular a tabela referente aos dados do ajuste

Tive dificuldade em tornar a reta de ajuste mais visível por causa de demasiados pontos.

Dá para perceber uma maior dispersão de dados na parte inicial, algo que não ocorre na 2º linearização.

Gráfico de resíduos (1º linearização):

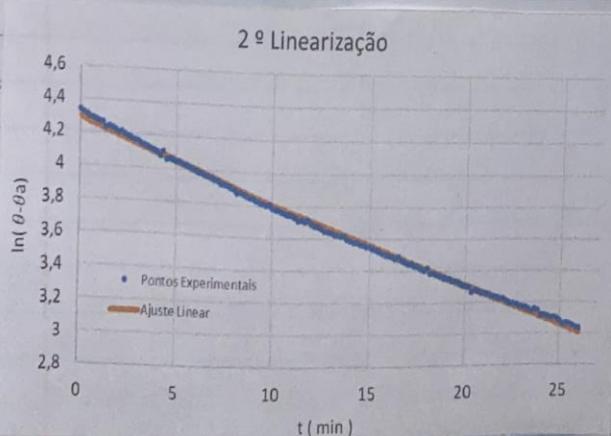


})erto para aqui

Nota-se claramente que em toda a curva de dados experimentais, os valores seguem uma tendência, espécie de curvatura, em forma de parábola, mesmo considerando os valores na escala logarítmica.

Repórto acima que na primeira linearização não tinha satisfeito todos os dados, mas fazer isso agora nesta 2º linearização para ver se a resultada será mais satisfatória (Qual a gama?)

Gráfico da linearização (segunda):



Início (igual) = 16,93 min
Final = 42,83 min

arrefecimento tempo da experiência

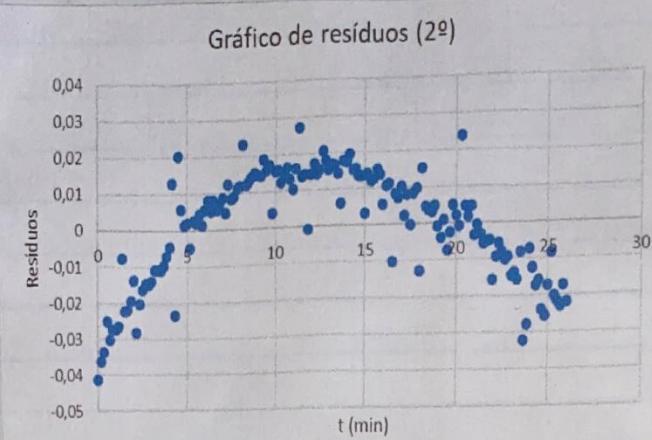
Escala tempo: / toda

Ajuste linear:

$m = -0,04916$	$4,28405$	b
$s_m = 0,00016$	$0,00238$	s_b
$R^2 = 0,99889$	$0,01449$	s_y

Parece a onda de gama

Gráfico de resíduos:



Só temos
só
resíduos
a acabar

Tal como no gráfico de resíduos anterior, continua-se a observar a tendência parabólica.

No gráfico de resíduos é óbvio uma grande alguma desordem nos pontos experimentais tal como no gráfico de resíduos anterior, portanto, considero este um melhor aproximação à realidade.

NOTA: Devido à grande quantidade de dados não optei pela introdução de bairros devido, para não poluir demasiado o gráfico, que neste quer no anterior.

Calcular relativamente ao gráfico referente à 2º linearização:

nos gráficos nas
linearizações

Subindo que: $m = -0,04916$; $b = 4,19405$

Fazendo mais atrás considerando: $m = \frac{1}{\tau}$, temos:

$$\tau = \frac{1}{m} = \frac{1}{-0,04916} = -20,3417 \text{ min}$$

e que:

$$b = \ln(b_i - b_0)$$

$$\Rightarrow b_i - b_0 = e^b \quad \Rightarrow b_i - b_0 = e^{4,19405} = 73,2626^\circ\text{C}$$

valor de b está muito provavelmente ligeiramente exagerado.

Acredito que a causa para essa discrepancia seja o facto de que no primeiro minuto de aquecimento, o tubo de ensaio estava de lado do gabinete de aquecimento, só depois

reparei no erro e tornei-mos, mas pode ser isso a causa de b-tos erros.

- Determinar as incertezas dos valores calculados.

- Incerteza de T :

$$v^2(T) = \left(\frac{dT}{dm} \right)^2 v^2(m) \text{ se } v(T) = \sqrt{\left(\frac{1}{m^2} \right)^2 v^2(m)} = \frac{v(m)}{m^2} =$$

$$= 0,00646 = 0,058 \text{ min}$$

$$(0,0591)^2$$

valor na matriz do ajuste linear.

- Incerteza de $(\theta_i - \theta_u)$:

$$v(\theta_i - \theta_u) = v(\ln(\theta_i - \theta_u)) |_{(\theta_i - \theta_u)} = 0,05224 \times 73,2626 = 0,76$$

$$\theta_i - \theta_u = (73,26 \pm 0,76)^\circ C ; T = (20,842 \pm 0,058) \text{ min}$$

NOTA: considerei 2 algarismos de incerteza em ambas as incertezas pelo fato de termos sido feitos mais de 50 medições.

Reprodutibilidade:

(comparando com o valor do Miguel Vieira (autorizou a minha utilização dos seus dados)).

Meu valor experimental: 1220,52 s

Outro valor experimental: 1306,55 s

(massa afetam resultados)

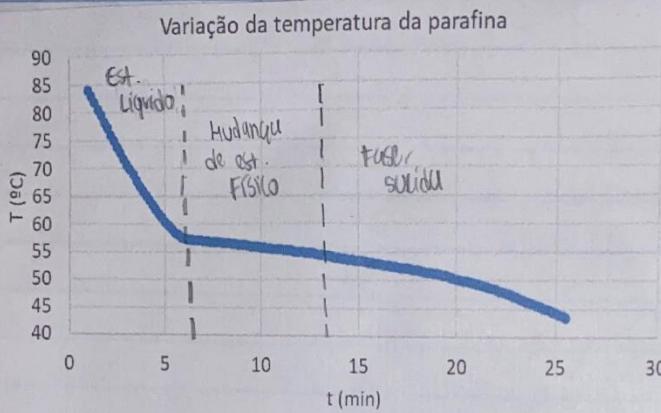
$$EICL = \left| \frac{1220,52 - 1306,55}{1306,55} \right| \times 100 = 6,58\%$$

Importante ressaltar que este erro não tem muita utilidade pelo fato de não alterar (extremamente) a massa de água contida no nosso tubo de ensaio, tal como o Miguel nos determinou também.

2. Estudo da solidificação da parafina

Como referi anteriormente, registramos no ecrã e com o auxílio de um cronómetro, a variação da parafina de 10 em 10 segundos.

Gráfico da variação da temperatura da parafina em função do tempo:



Se analisarmos com
precisão podemos
ver que a fase
de mudança de estado
fase sólida em
53 - 54,5 °C

Pode-se explicar o facto de a
fase de mudança de est. sólido não
ser completamente constante por haver
mistura de parafina líquida e sólida

Houve uma vez mais introduzi buracos de gelo.

Análise do gráfico:

- Observa-se uma variação muito repentina e drástica nos instantes iniciais (dos 100°C até mais ou menos 53-60°C) da parafina que pode ser explicada com a diferença que se encontra a parafina e a própria temperatura ambiente. → estudo líquido

- Depois observa-se a fase de mudança de estudo físico (variação bem mais lenta, devendo ser ainda mais lenta), neste intervalo de tempo a parafina é uma mistura dos dois estados líquidos

- Por fim, a temperatura voltou a variar muito rapidamente, o que indica a passagem para um novo estudo físico (estudo líquido) (dos 53-55°C até ao final).

Temperatura de solidificação: $\Theta_f = \frac{53 + 54,5}{2} = 53,75^{\circ}\text{C} \rightarrow T_s = (53,8 \pm 0,1)^{\circ}\text{C}$

Opcional por fazer a média aritmética dos valores que me pareceram mais
confiáveis como temperaturas onde ocorreu a mudança de estudo físico, digitais

na é boa opção quando depois
de tanto dada.

teoricamente: $\rho_{parafina} = 100 \text{ kg cm}^{-3}$ / $T_{fundido}(\text{parafina}) = 330,0 \text{ K} = 56,9^\circ\text{C}$

- Calculando o erro relativo a partir do efeito térmico:

$$\text{ER}(\%) = \frac{|55,15 - 56,9|}{56,9} \times 100 = 2,02\%$$

$$\text{erro de exatidão} = (100 - 2,02) = 97,98\%$$

Conclusão:

No gráfico, nesta experiência verificou-se a lei de arrefecimento de Newton, aumentando a constante neste lei através do arrefecimento da água.

Analisou-se primeiramente, a manutenção a temperatura da água e da temperatura ambiente varia, e depois do aquecimento do tubo de ensaio contendo água, principalmente, foi possível, através das fórmulas e equações dadas pela lei de Newton, calcular o valor do tempo de relaxação térmica do sistema e a diferença entre θ_i e θ_u :

$$T = (20,342 \pm 0,058) \text{ min} ; \quad \theta_i - \theta_u = (+3,26 \pm 0,16)^\circ\text{C}$$

Para além disso, através dos estudos da temperatura da parafina retirados de 10 em 70 s, conseguimos determinar a temperatura de solidificação da parafina a partir de um intervalo de valores que me parecem mais corretos entre $54,5^\circ\text{C} - 51^\circ\text{C}$, obtendo:

$$\theta_f = (55,8 \pm 0,1)^\circ\text{C}$$

intervalo que ocorre a mudança de estado físico (líquido \rightarrow sólido)

NOTA: O fato de o gráfico não se apresentar completamente constante pode-se dever ao fato de haver, durante esta fase, mistura entre parafina nos dois estados físicos (líquido e sólido) e obviamente, pelo fato de a parafina usada não ser certamente pura.