

## Atividade da Ponte de Wheatstone (T7B)

Nuno Pórcio

PL6 6#

13/05/2022

### Indicações de Segurança

- Na primeira parte da atividade, nunca exceder 5V na fonte de tensão
- Realizar todas as montagens com tensão e verificar sempre antes de ligar para evitar incidentes
- Nunca ultrapassar 1V de tensão na 2ª parte da atividade

### Preparação

- Foi feito um estudo profundo do protocolo T7B, assim como do vídeo facultado
- O excel para esta atividade foi feito precisamente, de modo a facilitar a interpretação e análise dos dados em tempo real

### Objetivos

- 1- Medição de resistências e verificação das leis de associações em série e em paralelo, ~~usando~~ utilizando a ponte de Wheatstone em equilíbrio
- 2- Determinação do comportamento térmico da resistência de um termómetro de platina, usando a ponte de Wheatstone fora de equilíbrio

### Procedimento

1- Determinação de resistências com a ponte Wheatstone em equilíbrio

1.1- ligar o voltmetro e ohmímetro para estabilizarem a sua temperatura de funcionamento. Só os desligar mesmo no final da atividade. Garantir ainda que estes têm o Zero ajustado

1.2- Registrar os valores das resistências da placa ( $R_a, R_b, R_c$ ) utilizando o código de cores e um ohmímetro.

1.3- Montar o circuito da figura 1.

1.3.1- Escolher o par  $R_1/R_2$  mais favorável

1.3.2- Nunca ultrapassar 5V no gerador de tensão

1.3.3- Se for utilizado um galvanómetro, garantir que o Zero está "ajustado"

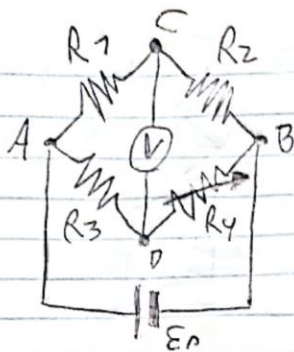


Figura 1 - Montagem inicial

1.4 - Usando os botões da caixa de resistências que determinam o valor de  $R_4$ , começando pelo valor mais alto, determinar aquele para qual a diferença de potencial entre C e D é nula.

1.5 - Repetir o processo em 1.4 para outras resistências da placa ( $R_3$ ) ou para associações de resistências em série ou em paralelo.

1.6 - Usando a fórmula  $R_3 = \frac{R_1}{R_2} R_4$ , determinar  $R_3$  para cada situação, assim como a incerteza e erro associados. De notar que o valor de referência deverá ser aquele medido com o ohmímetro.

2 - Determinação do comportamento térmico da resistência de um termômetro de platina

2.1 - Montar o circuito na Figura 2. Este se baseia no circuito da figura 1, mas em que a resistência  $R_3$  é substituída pela resistência  $R_3(\theta)$ , corresponde àquela dos termômetros de platina, no interior dum cilindro de alumínio com uma resistência de aquecimento. Escolher  $R_1 = R_2 = 1000 \Omega$  e ligar a resistência de aquecimento ao gerador de tensão.

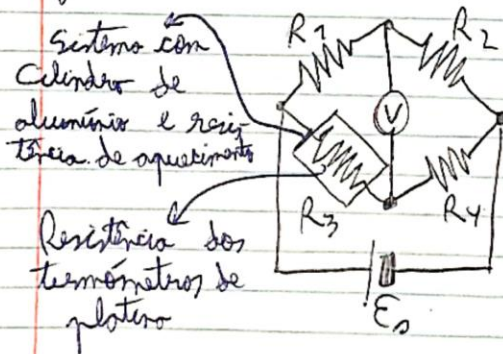


Figura 2 - Montagem com cilindro de alumínio, resistências de aquecimento e termômetros de platina



- 2.2 - Verificar que os termómetros estão bem inseridos no orifício do bloco de alumínio por esse fim testado
- 2.3 - Ligar os terminais de um dos termómetros a um ohmímetro e os do outro ao circuito, da mesma forma que a resistência  $R_3$  era ligada na figura 1.
- 2.4 - Registrar a diferença de potencial  $E_s$  (entre A e B)
- 2.4.1 - De notar que este valor deverá ser o menor possível, de forma a haver menor dissipação de energia.
- 2.5 - Antes de iniciar o aquecimento, deverá decidir se se vai tomar  $R_1 = 1000 \Omega$  ou se se vai equilibrar a ponte à temperatura ambiente
- 2.6 - Iniciar o aquecimento, ligando o gerador que alimenta a resistência de aquecimento. É recomendada uma tensão de aquecimento de cerca de 30V
- 2.6.1 - Por razões de segurança, nunca ultrapassar os  $40^\circ C$  (resistência de  $1150 \Omega$  do termómetro)
- 2.7 - Periodicamente, registar  $t$  (instante do registo),  $\Delta V$  (tensão no voltímetro  $V$ ) e  $R_3(t)$  (resistência do termómetro de platina indicada no ~~ohm~~ ohmímetro)

16/05/2023  
Tob e gus  
PC

Notas de aula

~~$R_A \rightarrow$  Ohmímetro  $\rightarrow (1193 \pm 10) \Omega$~~   
 ~~$\rightarrow$  Código cores  $\rightarrow (1200 \pm 5\%) \Omega$~~   
 ~~$\rightarrow (1200 \pm 60) \Omega$~~

~~$R_B \rightarrow$  Ohmímetro  $\rightarrow (11900 \pm 100) \Omega$~~

$R_B \rightarrow$  Ohmímetro  $\rightarrow (2120 \pm 10) \Omega$   
 $\rightarrow$  Código cores  $\rightarrow (2200 \pm 5\%) \Omega =$   
 $= (2200 \pm 110) \Omega$

$R_C \rightarrow$  Ohmímetro  $\rightarrow (3240 \pm 10) \Omega$   
 $\rightarrow$  Código cores  $\rightarrow (3300 \pm 5\%) \Omega = (3300 \pm 165) \Omega$

← Todas em série  
 $R_s \rightarrow$  Ohmímetros  $\rightarrow (6580 \pm 10) \Omega$

$$R_s = R_A + R_B + R_C \rightarrow \text{Teórico} \rightarrow 6553 \Omega$$

← Todas em paralelo  
 $R_p \rightarrow$  Ohmímetros  $\rightarrow (622 \pm 1) \Omega$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} \rightarrow \text{Teórico} \rightarrow 617 \Omega$$

16/05  
 Greg PC

Registo dos aparelhos de medição usados:

- Gerador de tensão de aquecimento AX-3005DS
- Resistência variável Tinsley Probe Resistance 5636/5
- Multímetro digital Keithley 2110 5 1/2 (Voltímetro)
- Gerador de tensão Philips PE 1539 E
- Multímetro digital portátil Kaize MY64 (Ohmímetro/Voltímetro)
- Multímetro digital Keithley 179 TRMS (Ohmímetro)
- Caixa das pontes de Wheatstone: "Students Wheatstone Bridge, Croxson Precision, Instrument, Type 5 W3, No 9576"

Análise de Dados

19/05/2022

- A análise de dados abaixo corresponde ao ponto 1 da medição

	R3 (código de cores) ( $\Omega$ )	R3 (ohmímetro) ( $\Omega$ )	R4 ( $\Omega$ )	u(R4) ( $\Omega$ )	R3 ( $\Omega$ )	u(R3) ( $\Omega$ )	u(R3) (%)	$\epsilon$ (%)	Voltagem (mV)
$R_a$	1200	1193	1199,2	12,084	1199	12,084	1,01%	0,52%	0,013
$R_b$	2200	2120	2164,3	21,686	2164	21,686	1,00%	2,09%	0,000
$R_c$	3300	3240	3289,2	32,984	3289	32,984	1,00%	1,52%	0,009
$R_{serie}$		6580	6653,4	66,038	6653	66,038	0,99%	1,12%	0,001
$R_{paralelo}$		622	624,8	6,296	624,8	6,296	1,01%	0,45%	0,058

Tabela 1 - Dados recolhidos no ponto 1 da atividade

R1	1000	$\pm$	u(R1)	10
R2	1000		u(R2)	10

- De notar que o R3 corresponde ao valor da resistência ( $\Omega$ ) na placa de acrílico. ~~Os~~ Os valores de R3 foram medidos pelo código de cores, assim como com um multímetro. Por fim, deve-se notar que o  $R_{serie}$  corresponde ao valor de R3 com todas as 3 resistências montadas em série e  $R_{paralelo}$  àquela com todas elas em paralelo.



- O valor de  $R_4$  corresponde àquele indicado na caixa de resistências variável.

- Como  $R_3 = \frac{R_1}{R_2} R_4$ , e como no circuito montado se tem que  $R_1 = 1000 \Omega$  e  $R_2 = 1000 \Omega$ , tem-se que  $R_3 = R_4$ , tal como refletido na tabela 1.

- Por fim, deve-se ressaltar que foram usados os valores de  $R_3$  obtidos com o multímetro, em vez daqueles do código de cores. Isto porque estes valores foram obtidos diretamente, em vez de serem previstos, de modo que iriam detectar desajuste ou danos na resistência que pudessem alterar o seu valor de resistência.

- Porque o multímetro utilizado era digital, a escala usada para medir  $R_3$  para as resistências em paralelo ( $R_{\text{paralelo}}$ ) foi diferente das restantes resistências medidas, pelo que a sua ~~uma~~ incerteza é de  $1 \Omega$ , enquanto que as incertezas de  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  e  $R_{\text{série}}$  são de  $10 \Omega$ .

- Ainda na tabela 1 pode-se observar que em todos os casos foi possível colocar o sistema das pontes de Wheatstone <sup>em equilíbrio</sup>, obtendo valores de voltagem na ordem das centésimas ou milésimas de miliVolt. De notar que, em parte, isto foi facilitado pelo uso de um multímetro digital, que reajustava a escala usada, de forma automática. Isto tornou o processo de ajuste do valor de  $R_4$  ~~mais~~ mais fácil e rápido.

- Por fim, verificaram-se as leis da associação de resistências em série e em paralelo. Os valores de  $R_3$  obtidos com estas foi, respetivamente,  $6553 \Omega$  e  $617 \Omega$ . Ao comparar estes valores àqueles obtidos com o sistema das pontes de Wheatstone, vê-se que os desvios para a montagem com as resistências em série foi de  $1,51\%$  e para as resistências em paralelo foi de  $1,25\%$ .

$\varepsilon_s$	0,463	$u(\varepsilon_s)$	0,001
R4	1090,7	$u(R4)$	10,914

t (s)	$\Delta V$ (mV)	$\Delta V$ (V)	R3( $\theta$ ) (k $\Omega$ )	R3( $\theta$ ) ( $\Omega$ )	$\Delta R3$ ( $\Omega$ )	$\theta$ ( $^{\circ}$ C)	$u(\theta)$ ( $^{\circ}$ C)	$\Delta V$ (eq5)	$\Delta V$ (eq6)	Fit	Resíduos
$\pm 1$	$\pm 0,001$	$\pm 1E-6$	$\pm 0,001$	$\pm 1$	$\pm 1$						
0	0,000	0,00E+00	1,092	1092	0	23,65	0,418	0,00E+00	0,00E+00	1,96E-04	-0,00019622
30	0,235	2,35E-04	1,093	1093	1	23,91	0,420	1,06E-04	1,06E-04	3,02E-04	-6,738E-05
60	0,475	4,75E-04	1,094	1094	2	24,16	0,421	2,12E-04	2,12E-04	4,09E-04	6,6456E-05
90	0,560	5,60E-04	1,095	1095	3	24,42	0,422	3,18E-04	3,18E-04	5,15E-04	4,52923E-05
120	0,640	6,40E-04	1,096	1096	4	24,68	0,423	4,24E-04	4,24E-04	6,21E-04	1,91286E-05
150	0,727	7,27E-04	1,097	1097	5	24,94	0,425	5,29E-04	5,31E-04	7,27E-04	-3,5118E-08
180	0,810	8,10E-04	1,098	1098	6	25,19	0,426	6,35E-04	6,37E-04	8,33E-04	-2,3199E-05
210	0,893	8,93E-04	1,098	1098	6	25,19	0,426	6,35E-04	6,37E-04	8,33E-04	5,98012E-05
240	0,974	9,74E-04	1,099	1099	7	25,45	0,427	7,40E-04	7,43E-04	9,39E-04	3,46375E-05
270	1,062	1,06E-03	1,100	1100	8	25,71	0,429	8,46E-04	8,49E-04	1,05E-03	1,64738E-05
300	1,132	1,13E-03	1,101	1101	9	25,97	0,430	9,51E-04	9,55E-04	1,15E-03	-1,969E-05
330	1,235	1,24E-03	1,101	1101	9	25,97	0,430	9,51E-04	9,55E-04	1,15E-03	8,33101E-05
360	1,300	1,30E-03	1,102	1102	10	26,23	0,431	1,06E-03	1,06E-03	1,26E-03	4,21464E-05
390	1,379	1,38E-03	1,103	1103	11	26,48	0,432	1,16E-03	1,17E-03	1,36E-03	1,49827E-05
420	1,460	1,46E-03	1,104	1104	12	26,74	0,434	1,27E-03	1,27E-03	1,47E-03	-1,0181E-05
450	1,537	1,54E-03	1,105	1105	13	27,00	0,435	1,37E-03	1,38E-03	1,58E-03	-3,9345E-05
480	1,610	1,61E-03	1,105	1105	13	27,00	0,435	1,37E-03	1,38E-03	1,58E-03	3,36554E-05
510	1,692	1,69E-03	1,106	1106	14	27,26	0,436	1,48E-03	1,49E-03	1,68E-03	9,49166E-06
540	1,670	1,67E-03	1,107	1107	15	27,52	0,438	1,58E-03	1,59E-03	1,79E-03	-0,00011867
570	1,843	1,84E-03	1,107	1107	15	27,52	0,438	1,58E-03	1,59E-03	1,79E-03	5,4328E-05
600	1,925	1,93E-03	1,108	1108	16	27,77	0,439	1,69E-03	1,70E-03	1,89E-03	3,01643E-05
630	2,000	2,00E-03	1,109	1109	17	28,03	0,440	1,79E-03	1,80E-03	2,00E-03	-9,9941E-07
660	2,072	2,07E-03	1,110	1110	18	28,29	0,441	1,89E-03	1,91E-03	2,11E-03	-3,5163E-05
690	2,176	2,18E-03	1,111	1111	19	28,55	0,443	2,00E-03	2,02E-03	2,21E-03	-3,7327E-05
720	2,304	2,30E-03	1,112	1112	20	28,81	0,444	2,10E-03	2,12E-03	2,32E-03	-1,549E-05
750	2,432	2,43E-03	1,113	1113	21	29,06	0,445	2,21E-03	2,23E-03	2,43E-03	6,34582E-06
780	2,525	2,53E-03	1,114	1114	22	29,32	0,447	2,31E-03	2,33E-03	2,53E-03	-6,8179E-06
810	2,630	2,63E-03	1,115	1115	23	29,58	0,448	2,42E-03	2,44E-03	2,64E-03	-7,9816E-06
840	2,792	2,79E-03	1,116	1116	24	29,84	0,449	2,52E-03	2,55E-03	2,74E-03	4,78547E-05
870	2,890	2,89E-03	1,117	1117	25	30,10	0,450	2,62E-03	2,65E-03	2,85E-03	3,96911E-05
900	2,998	3,00E-03	1,118	1118	26	30,35	0,452	2,73E-03	2,76E-03	2,96E-03	4,15274E-05
930	3,100	3,10E-03	1,119	1119	27	30,61	0,453	2,83E-03	2,87E-03	3,06E-03	3,73637E-05
960	3,193	3,19E-03	1,120	1120	28	30,87	0,454	2,93E-03	2,97E-03	3,17E-03	2,42E-05
990	3,280	3,28E-03	1,121	1121	29	31,13	0,456	3,04E-03	3,08E-03	3,27E-03	5,03629E-06
1020	3,387	3,39E-03	1,122	1122	30	31,39	0,457	3,14E-03	3,18E-03	3,38E-03	5,8726E-06
1050	3,482	3,48E-03	1,123	1123	31	31,64	0,458	3,24E-03	3,29E-03	3,49E-03	-5,2911E-06
1080	3,554	3,55E-03	1,124	1124	32	31,90	0,460	3,35E-03	3,40E-03	3,59E-03	-3,9455E-05
1110	3,640	3,64E-03	1,125	1125	33	32,16	0,461	3,45E-03	3,50E-03	3,70E-03	-5,9618E-05
1140	3,725	3,73E-03	1,125	1125	33	32,16	0,461	3,45E-03	3,50E-03	3,70E-03	2,53815E-05
1170	3,793	3,79E-03	1,126	1126	34	32,42	0,462	3,55E-03	3,61E-03	3,81E-03	-1,2782E-05
1200	3,848	3,85E-03	1,127	1127	35	32,68	0,463	3,66E-03	3,71E-03	3,91E-03	-6,3946E-05
1230	3,912	3,91E-03	1,127	1127	35	32,68	0,463	3,66E-03	3,71E-03	3,91E-03	5,41445E-08
1260	3,979	3,98E-03	1,127	1127	35	32,68	0,463	3,66E-03	3,71E-03	3,91E-03	6,70541E-05
1290	4,042	4,04E-03	1,128	1128	36	32,94	0,465	3,76E-03	3,82E-03	4,02E-03	2,38905E-05
1320	4,100	4,10E-03	1,129	1129	37	33,19	0,466	3,86E-03	3,93E-03	4,12E-03	-2,4273E-05
1350	4,160	4,16E-03	1,130	1130	38	33,45	0,467	3,96E-03	4,03E-03	4,23E-03	-7,0437E-05
1380	4,214	4,21E-03	1,130	1130	38	33,45	0,467	3,96E-03	4,03E-03	4,23E-03	-1,6437E-05
1410	4,266	4,27E-03	1,130	1130	38	33,45	0,467	3,96E-03	4,03E-03	4,23E-03	3,55631E-05
1440	4,313	4,31E-03	1,131	1131	39	33,71	0,469	4,07E-03	4,14E-03	4,34E-03	-2,3601E-05
1470	4,378	4,38E-03	1,131	1131	39	33,71	0,469	4,07E-03	4,14E-03	4,34E-03	4,13994E-05
1500	4,426	4,43E-03	1,132	1132	40	33,97	0,470	4,17E-03	4,24E-03	4,44E-03	-1,6764E-05

Tabela 2 - Valores medidos na 2ª porta da atividade



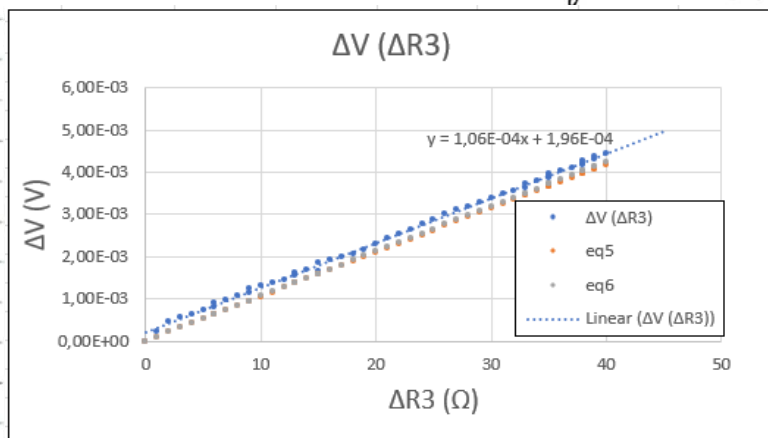
- Algumas notas acerca da tabela 2:

- Os valores de  $t$  (tempo) têm incertezas no valor de 1s. Ora, o cronómetro usado tinha uma sensibilidade de 0,1s, mas optamos por considerar uma incerteza de 1s, pois não era possível registar os valores decimais com qualquer certeza.
- Os valores de  $R_3$  indicados são aqueles medidos no ohmímetro ~~que~~ <sup>a</sup> que estavam ligados 2 das pontas do termómetro.
- $\theta$  representa a temperatura em Celsius. Estes valores foram obtidos através da fórmula:  $\theta(R) = 10^{-5} R^2 + 0,2358 R - 215,77$ .
- Tem-se ainda que os valores da incerteza de  $\theta$ ,  $u(\theta)$ , foi obtida com a fórmula:  $u(\theta) = 0,3 + 0,0051\theta$ .
- Por fim,  $\Delta V$  (eq 5) e  $\Delta V$  (eq 6) correspondem, respetivamente, aos valores de  $\Delta V$  calculados com as fórmulas 5 e 6 do protocolo T7B:

$$\Delta V = \frac{\Delta R E_s}{4R_4 + 2\Delta R} \quad (5)$$

$$\Delta V = \frac{\Delta R E_s}{4R_4} \quad (6)$$

- É importante realçar que, antes de iniciar esta parte da atividade, decidimos ajustar o valor de  $R_4$ , de forma a equilibrar a ponte de Wheatstone e fazer com que a voltagem ~~indicada~~ <sup>medida</sup> no multímetro fosse nula.



Análise estatística			
declive (m)	ordenada origem (b)	u(b)	sy
0,00011	0,0002	1,4E-05	
u(m)	5,7E-07		
r <sup>2</sup>	0,99861		

Gráfico 1 -  $\Delta V(\Delta R_3)$  em relação a valores de  $\Delta V$  obtidos através de métodos teóricos

- Facilmente se vê que esta é uma relação linear e que os valores experimentais estão sempre acima dos teóricos.

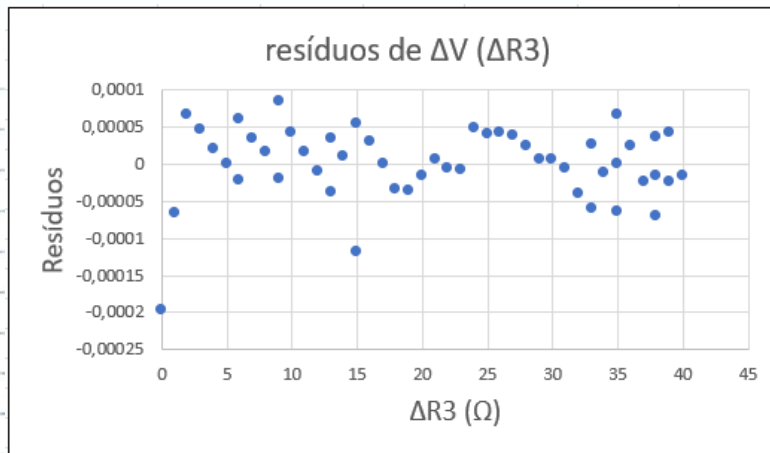


Gráfico 2 - Resíduos do gráfico 1

- Através destes resíduos, aleatórios, podemos dizer que o método de regressão tem sido o correto.

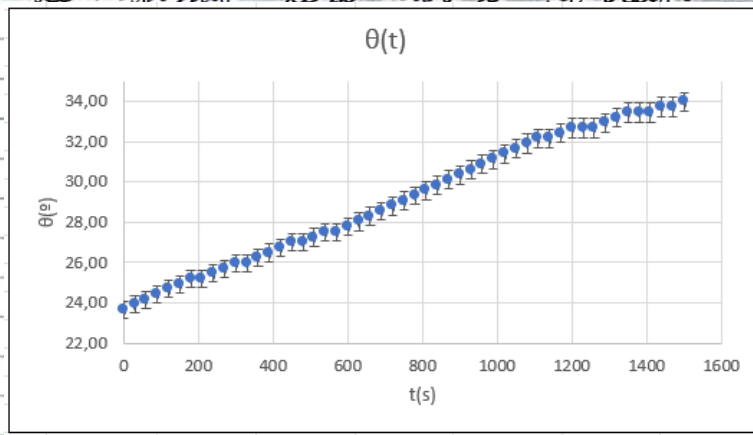


Gráfico 3 - Relação  $\Theta(t)$

- Imediatamente se vê que a relação entre a temperatura e o tempo é linear. E vê-se ainda que, ao longo da atividade, a temperatura no termômetro aumentou  $10,32^{\circ}\text{C}$ .

- Para finalizar a análise de dados, irei relacionar o declive da regressão linear  $\Delta V(\Delta R_3)$  com o declive das retas  $\Delta V(\Delta R)$  obtidas com as fórmulas teóricas 5 e 6. Assim, tem-se que  $m_5 = 1,01 \times 10^{-4}$ ,  $m_6 = 1,0612 \times 10^{-4}$  e  $m_{\text{exp}} = 1,0616 \times 10^{-4}$ .

- Ora, a estes valores <sup>experimental</sup> corresponde um desvio de 1,9% e de 0,07% das fórmulas 5 e 6, respetivamente.



## Conclusões

- Na primeira parte da atividade, tal como desejado, verificou-se os ~~os~~ leis de associações em série e em paralelo de resistências. Verificou-se ainda a eficácia do método da determinação do valor de resistência com ponte de Wheatstone. Estas verificações puderam ser feitas, porque os valores de  $R_3$  obtidos com este circuito tiveram desvios de 2% ou menos dos valores obtidos com ohmímetro.

- Na segunda parte da atividade, utilizando o ponte de Wheatstone fora de equilíbrio, foi possível verificar que a relação entre a voltagem e a resistência é linear, sendo que a tensão aumenta com a resistência.

- Nesta parte, verificou-se ainda a ocorrência de erros muito reduzidos, o que leva a concluir que o método de regressão, assim como os equívocos teóricos em que se baseou a atividade, terão sido os mais adequados à atividade.

- Por fim, verificou-se que a temperatura no termómetro de platina foi diretamente proporcional ao tempo, sendo que esta aumentou  $10,32^{\circ}\text{C}$  no tempo de estudo, que foi de 25 minutos. Verificou-se ainda que a temperatura ambiente à hora da atividade seria de  $23,65^{\circ}\text{C}$ .