

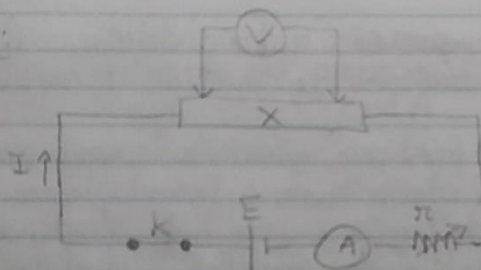
25/03/2022

Trabalho 3A Medição de Resistências Elétricas

Objetivos:

- Medir resistências elétricas de diferentes barras metálicas recorrendo ao método dos 4 pontos.
- Determinar a resistividade das barras.

Esquema:



X - barra metálica
K - interruptor
E - fonte de tensão
V - voltímetro
A - Amperímetro
r - resistência de proteção.

Materiais: 2 multímetros; fonte de tensão
barra metálica; interruptor; resistência de
proteção; fios de ligação; micrômetro; acessórios.

Nota: A resistência de proteção é extremamente importante!
A sua função será dissipar potência de maneira
a não queimar/sobrecarregar as barras metálicas.

Incerteza Micrômetro \Rightarrow 0,01 mm

- O fio que liga ao multímetro a sonda de voltímetro entra na entrada V_r (+)
- O segundo entra na entrada do comum (preto)

⚠ Calcular tensão com interruptor fechado e aberto!

Sugerido usar: 20V na fonte de tensão
corrente de 2A

Procedimento

- Medir o diâmetro da barra com o micrômetro em diferentes zonas da mesma e fazer de seguida a média (\bar{D})
- Fazer a montagem do circuito representado anteriormente, com os crocodilos ligados à barra.
- Utilizar os dados acima sugeridos para a fonte de tensão e corrente.
- ~~Medir a distância l entre os contactos de medição de tensão~~
- Efetuar as medições retirando sempre os seguintes dados: tensão com circuito aberto e fechado; corrente; tensão da fonte de tensão. Isto tudo mudando sempre a distância (l) entre contactos e também variando a mesma.
- Verificar a existência de eventuais alterações nos valores de tensão quando se separa/toca nos contactos de medição e na barra dando aos efeitos termoeletrônicos.
- Calcular a resistividade ($R = \frac{V}{I}$) para os vários valores de l
- Traçar o gráfico de R em função de l e determinar o declive
- Calcular a resistividade do material através de:

$$\rho = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \left(\frac{R}{l} \right) \rightarrow \text{const.}$$

- Calcular a sua incerteza e desvio percentual (erro percentual) (erro %)

- Estimar a resistência dos contactos com medição das resistências em pontos ao lado dos contactos. Comparar com o valor obtido a partir da ordenada na origem do gráfico de R em função de l .
- Efetuar medições para outras barras.
- Se possível, calcular também as densidades das barras.

Incertezas

Incerteza Higímetro $\Rightarrow 0,01 \text{ mm}$

Incerteza voltímetro $\Rightarrow 0,001 \text{ mV}$

Incerteza amperímetro $\Rightarrow 0,01 \text{ A}$

Incerteza fonte de tensão $\Rightarrow 0,01 \text{ A (I)}$
 $\Rightarrow 0,1 \text{ V (V)}$

Barras Metálica 1 (barras rodadas de cobre)

menor divisão $\rightarrow 1 \text{ mm}$

$$l = (100 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$d_1 = (8,44 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$d_2 = (8,41 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$d_3 = (8,45 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$d_4 = (8,40 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$d = (8,425 \pm 0,005) \text{ mm} = (0,8425 \pm 0,0005) \text{ cm}$$

$$l_{\text{cor}} = (84,8 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$l_{\text{cor}} = (84,8 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$l_{\text{cor}} = (84,8 \pm 0,05) \text{ cm}$$

Resistividade \Rightarrow Medida de oposição de um material ao fluxo da corrente elétrica.

l_{cor} \rightarrow distância entre crocodilos externos
 l \rightarrow comprimento total da barra

I	(A)	V_{fonte} (V)	V_{vdT} (mV) (fechado)	V_{vdT} (mV) (aberto)	ℓ (cm)	Aquecendo
1,55		15,9	0,061	0	10,90	0,050
1,55		15,9	0,169	0,011	27,70	0,172
1,17		12,0	0,201	0,010	44,50	0,196
1,17		12,1	0,257	0,011	57,40	0,231
1,17		12,1	0,335	0,006	78,30	0,327
1,17		12,0	0,037	0,008	6,30	0,044
1,17		12,0	0,024	0,003	5,00	0,030
1,22		12,5	0,325	0,002	81,50	0,355
1,27		13,0		0,001	87,40	0,325

Barras metálicas (barras quadradas)
de alumínio

$$\ell_{\text{ref}} = 67,5 \pm 0,05 \text{ cm}$$

$$\ell_+ = (64,60 \pm 0,05) \text{ cm} \text{ ou } (64,50 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$d_1 = (8,44 \pm 0,01) \text{ mm} \quad d_2 = (8,45 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$d_3 = (8,45 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$d = (8,447 \pm 0,006) \text{ mm} = (0,8447 \pm 0,0006) \text{ cm}$$

I	(A)	V_{fonte} (V)	V_{vdT} (mV) (fechado)	V_{vdT} (mV) (aberto)	ℓ (cm)	Aquecendo
1,17		12,0	0,321	0,002	5,9	0,319
1,17		12,0	0,048	0,015	5,3	0,054
1,18		12,1	0,179	0,016	29,3	0,115
1,19		12,2	0,271	0,019	39,0	0,275
1,20		12,3	0,025	0,012	7,6	0,023
1,18 (...)		12,1 (...)	0,113 (...)	0,019 (...)	14,3	0,090
1,31		13,4	0,400	0,002	60,8	0,437

Ferro:

$$\ell_+ = (64,55 \pm 0,04) \text{ cm}$$

$\ell_+ \rightarrow$ comp. total da barra

$d_{\text{ref}} \rightarrow$ distância entre acesos - externos

Barra metálica 3 (barra redonda de alumínio)

$$d_{\text{med}} = (8,16 \pm 0,05) \text{ mm}$$

$$(8,17 \pm 0,05) \text{ mm}$$

$$d_1 = (8,06 \pm 0,01) \text{ mm} \quad d_2 = (8,59 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$d_3 = (8,04 \pm 0,01) \text{ mm} \quad d_4 = (8,28 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$\bar{d} = (8,223 \pm 0,005) \text{ mm} = (0,8223 \pm 0,0005) \text{ cm}$$

I (A)	U_{fonte} (V)	U_{res} (mV) (fechado)	U_{alt} (mV) (aberto)	l (cm)	Aquecimento
1,16	11,9	0,033	0,004	3,5	0,030
1,16	11,9	0,120	0,017	13,4	0,120
1,17	12,0	0,271	0,026	31,7	0,262
1,19	12,1	0,392	0,080		0,384
	12,6				0,507
			(...)		

As restantes medições encontram-se registadas no Excel.

Barra metálica 4

$$d_3 = (0,65 \pm 0,01) \text{ cm}$$

$$d_1 = (0,65 \pm 0,01) \text{ cm} \quad d_2 = (0,65 \pm 0,01) \text{ cm}$$

$$\bar{d} = (0,650 \pm 0,006) \text{ cm}$$

$$l_{\text{med}} = (37,60 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$l_{\text{med}(2)} = (37,70 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$\bar{l}_{\text{med}} = (37,65 \pm 0,04) \text{ cm}$$

Barra metálica 5

$$d_1 = (0,56 \pm 0,01) \text{ cm} \quad d_2 = (0,51 \pm 0,01) \text{ cm}$$

$$d_3 = (0,50 \pm 0,01) \text{ cm}$$

$$\bar{d} = (0,523 \pm 0,006) \text{ cm}$$

$$l_{\text{exte}(1)} = (51,5 \pm 0,05) \text{ cm} \quad l_{\text{exte}(2)} = (51,5 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$\bar{l}_{\text{exte}} = (51,50 \pm 0,04) \text{ cm}$$

Barra metálica 6

$$d_1 = (0,41 \pm 0,01) \text{ cm} \quad d_2 = (0,40 \pm 0,01) \text{ cm}$$

$$d_3 = (0,41 \pm 0,01) \text{ cm}$$

$$\bar{d} = (0,407 \pm 0,006) \text{ cm}$$

$$l_{\text{exte}(1)} = (47,80 \pm 0,05) \text{ cm} \quad l_{\text{exte}(2)} = (47,80 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$\bar{l}_{\text{exte}} = (47,80 \pm 0,05) \text{ cm}$$

Com a expressão $R = \frac{V}{I}$, sendo V a tensão medida numa seção com o interruptor fechado, calculou-se a resistência dessa mesma seção e obteve-se a respetiva incerteza.

A incerteza obtém-se através da expressão $\Delta R = \sqrt{\left(\frac{1}{I} \Delta V\right)^2 + \left(-\frac{V}{I^2} \Delta I\right)^2}$

BARRA METÁLICA 1

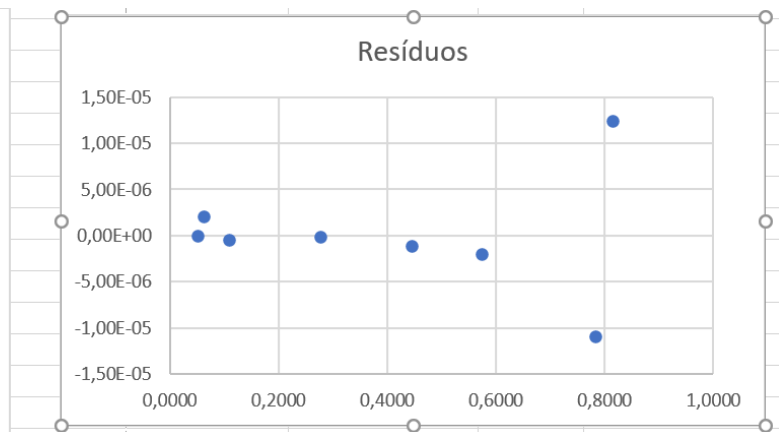
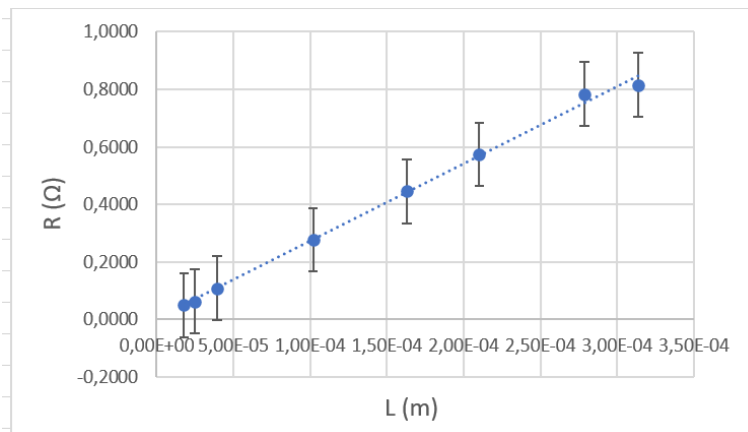
L (cm)	u(L)	Ufonte (V)	u(fonte)	I (A)	u(I)	U fechado (μ V)	u(fechado)	Uf-Ua (μ V)
10,90	0,05	15,9	0,1	1,55	0,01	61	1	61
27,70	0,05	15,9	0,1	1,55	0,01	169	1	158
44,50	0,05	12,0	0,1	1,17	0,01	201	1	191
57,40	0,05	12,1	0,1	1,17	0,01	257	1	246
78,30	0,05	12,1	0,1	1,18	0,01	335	1	329
6,30	0,05	12,0	0,1	1,17	0,01	37	1	29
5,00	0,05	12,0	0,1	1,17	0,01	24	1	21
81,50	0,05	12,5	0,1	1,22	0,01	385	1	383
87,40	0,05	13,0	0,1	1,27	0,01			

R(Ω)	u(R)	U aberto (μ V)	u(aberto)
3,94E-05	0.0000007	0	1
1,02E-04	0.000001	11	1
1,63E-04	0.000002	10	1
2,10E-04	0.000002	11	1
2,79E-04	0.000003	6	1
2,48E-05	0.0000009	8	1
1,79E-05	0.0000009	3	1
3,14E-04	0.000003	2	1
		1	1

U aquecido (μ V)	u(aquecido)	L (m)	u(L)	Ajuste Linear	Resíduos
50	1	0,1090	0,0005	3,97735E-05	-4,19E-07
172	1	0,2770	0,0005	0,000102069	-1,34E-07
196	1	0,4450	0,0005	0,000164364	-1,12E-06
233	1	0,5740	0,0005	0,000212198	-1,94E-06
327	1	0,7830	0,0005	0,000289697	-1,09E-05
44	1	0,0630	0,0005	2,27165E-05	2,07E-06
30	1	0,0500	0,0005	1,7896E-05	5,27E-08
355	1	0,8150	0,0005	0,000301563	1,24E-05
385	1	0,8740	0,0005	0,00032344	

m	0,000371	-0,000001	b
u(m)	0,000008	0,000004	u(b)
r^2	0,997	0,000007	u(y)

d (m)	0,008425
u(d)	0,000005
U fora	3,85E-04
u (U fora)	1,00E-06
resistividade	2,06717E-08
u (resistividade)	4E-10



BARRA METÁLICA 2

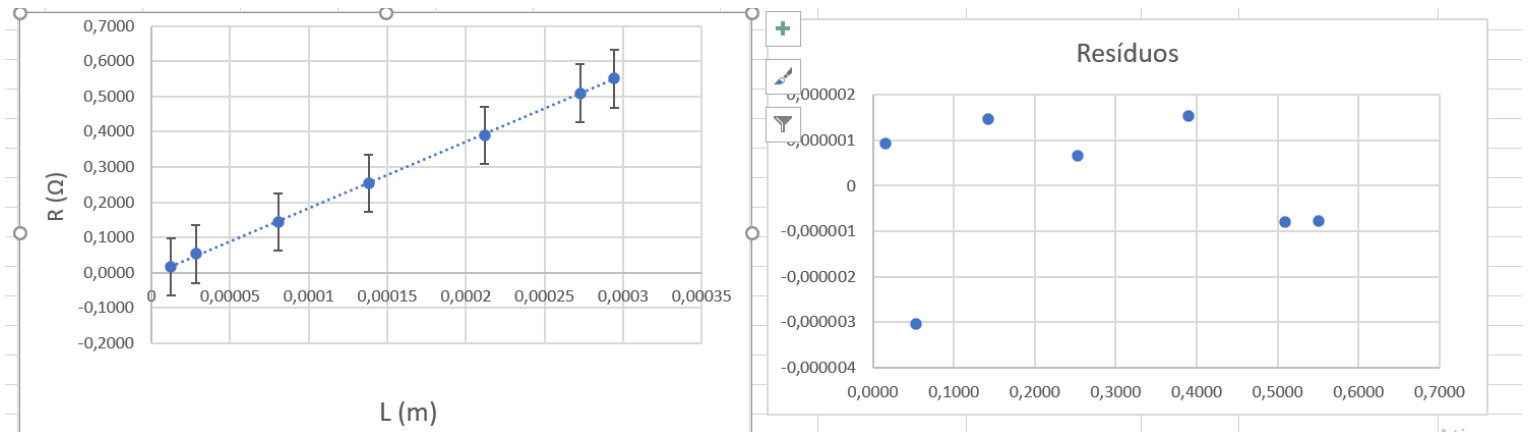
L (cm)	u(L)	Ufonte (V)	u(fonte)	I (A)	u(I)	U fechado (μ V)	u(fechado)	Uf-Ua (μ V)
50,90	0,05	12,0	0,1	1,17	0,01	321	1	319
5,30	0,05	12,0	0,1	1,17	0,01	48	1	33
25,30	0,05	12,1	0,1	1,18	0,01	179	1	163
39,00	0,05	12,2	0,1	1,19	0,01	271	1	252
1,60	0,05	12,3	0,1	1,20	0,01	27	1	15
14,30	0,05	12,1	0,1	1,18	0,01	114	1	95
55,00	0,05	13,0	0,1	1,26	0,01	376	1	371
60,80	0,05	13,4	0,1	1,31	0,01			

R(Ω)	u(R)	U aberto (μ V)	u(aberto)
0,00027265	0.000002	2	1
2,82051E-05	0.0000009	15	1
0,000138136	0.000002	16	1
0,000211765	0.000002	19	1
0,0000125	0.0000009	12	1
8,05085E-05	0.000001	19	1
0,000294444	0.000002	5	1
		2	1

U aquecido (μ V)	u(aquecido)	L (m)	u(L)	Ajuste linear	Resíduos
319	1	0,5090	0,0005	0,000273444	-7,9E-07
54	1	0,0530	0,0005	3,12306E-05	-3E-06
178	1	0,2530	0,0005	0,000137464	6,71E-07
276	1	0,3900	0,0005	0,000210235	1,53E-06
23	1	0,0160	0,0005	1,15774E-05	9,23E-07
11	1	0,1430	0,0005	7,90358E-05	1,47E-06
378	1	0,5500	0,0005	0,000295222	-7,8E-07
437	1	0,6080	0,0005	0,000326029	

m	0,000531	0,000003	b
u(m)	0,000003	0,000001	u(b)
r^2	0,9998	0,000002	u(y)

d (m)	0,008447
u(d)	0,000006
U fora	4,00E-04
u (U fora)	1,00E-06
resistividade	3,79E-08
u (resistividade)	2E-10



BARRA METÁLICA 3

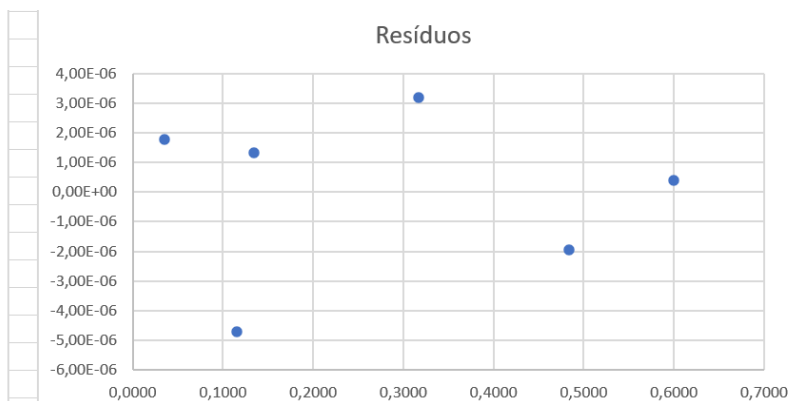
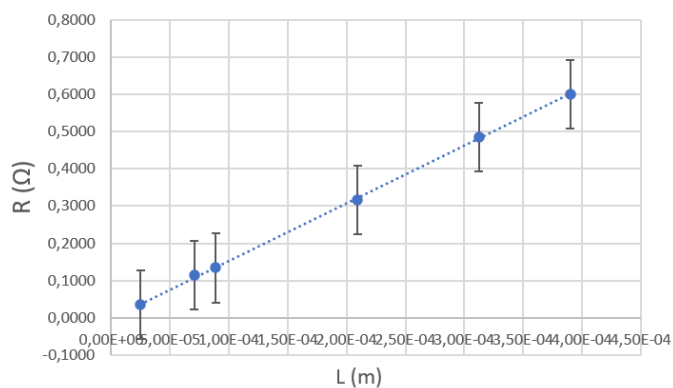
L (cm)	u(L)	Ufonte (V)	u(fonte)	I (A)	u(I)	U fechado (μ V)	u(fechado)	Uf-Ua (μ V)
3,50	0,05	12,0	0,1	1,16	0,01	33	1	29
13,40	0,05	11,9	0,1	1,16	0,01	120	1	103
31,70	0,05	12,0	0,1	1,17	0,01	271	1	245
48,40	0,05	12,1	0,1	1,19	0,01	392	1	372
60,00	0,05	12,6	0,1	1,23	0,01	500	1	480
11,50	0,05	16,3	0,1	1,59	0,01	114	1	112
65,70	0,05	13,1	0,1	1,27	0,01			

R(Ω)	u(R)	U aberto (μ V)	u(aberto)
2,50E-05	0.0000009	4	1
8,88E-05	0.000001	17	1
2,09E-04	0.000002	26	1
3,13E-04	0.000003	20	1
3,90E-04	0.000003	20	1
7,04E-05	0.0000008	2	1
		0	1

U aquecido (μV)	u(aquecido)	L (m)	u(L)	Ajuste linear	Resíduos
30	1	0,0350	0,0005	2,32E-05	1,76E-06
120	1	0,1340	0,0005	8,75E-05	1,32E-06
262	1	0,3170	0,0005	0,000206	3,19E-06
384	1	0,4840	0,0005	0,000315	-1,97E-06
506	1	0,6000	0,0005	0,00039	4,07E-07
109	1	0,1150	0,0005	7,51E-05	-4,71E-06
486	1	0,6570	0,0005	0,000427	

d (m)	0,008223
u(d)	0,000005
U fora	4,77E-04
u (U fora)	1,00E-06
resistividade	3,45E-08
u (resistividade)	5E-10

m	0,00065	0,000001	b
u(m)	0,00001	0,000002	u(b)
r^2	0,9996	0,00000	u(y)



BARRA METÁLICA 4

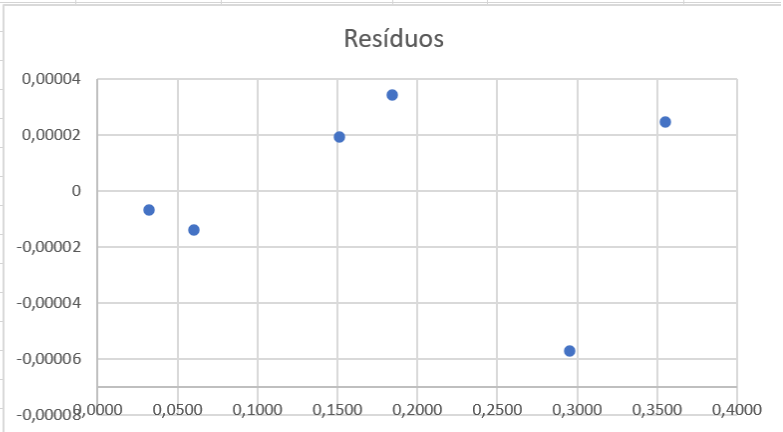
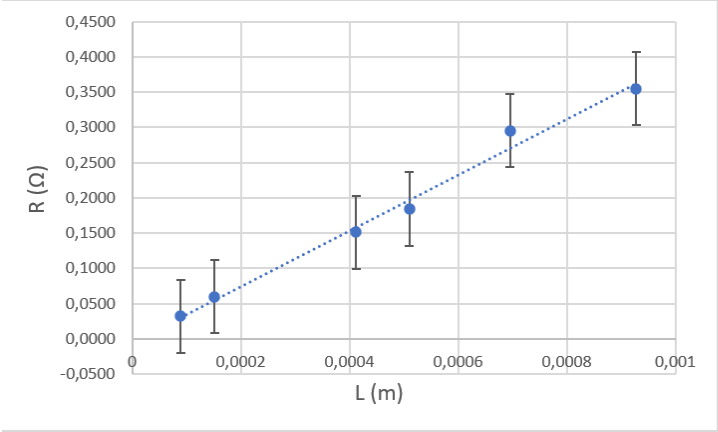
L (cm)	u(L)	Ufonte (V)	u(fonte)	I (A)	u(I)	U fechado (μV)	u(fechado)	Uf-Ua (μV)
29,50	0,05	13,2	0,1	1,27	0,01	899	1	884
3,20	0,05	12,1	0,1	1,17	0,01	119	1	104
15,10	0,05	12,6	0,1	1,19	0,01	501	1	491
6,00	0,05	12,0	0,1	1,16	0,01	185	1	176
35,50	0,05	14,5	0,1	1,40	0,01	1320	1	1299
18,40	0,05	15,2	0,1	1,48	0,01	759	1	755
40,20	0,05	12,7	0,1	1,19	0,01			

$R(\Omega)$	$u(R)$	U aberto (μV)	$u(\text{aberto})$
0,000696063	0.000006	15	1
8,88889E-05	0.000001	15	1
0,000412605	0.000004	10	1
0,000151724	0.000002	9	1
0,000927857	0.000007	21	1
0,000510135	0.000004	4	1
		22	1

U aquecido (μV)	$u(\text{aquecido})$	L (m)	$u(L)$	Ajuste linear	Resíduos
897	1	0,2950	0,0005	0,000753302	-5,7E-05
11	1	0,0320	0,0005	9,5787E-05	-6,9E-06
489	1	0,1510	0,0005	0,000393294	1,93E-05
190	1	0,0600	0,0005	0,000165789	-1,4E-05
1324	1	0,3550	0,0005	0,000903306	2,46E-05
779	1	0,1840	0,0005	0,000475796	3,43E-05
1	1	0,4020	0,0005	0,001020808	

m	0,0025	0,00002	b
$u(m)$	0,0001	0,00003	$u(b)$
r^2	0,989	0,00004	$u(y)$

d (m)	0,00650
$u(d)$	0,00006
U fora	1,18E-03
$u(U \text{ fora})$	1,00E-06
resistividade	8,3E-08
$u(\text{resistividade})$	4E-09



BARRA METÁLICA 5

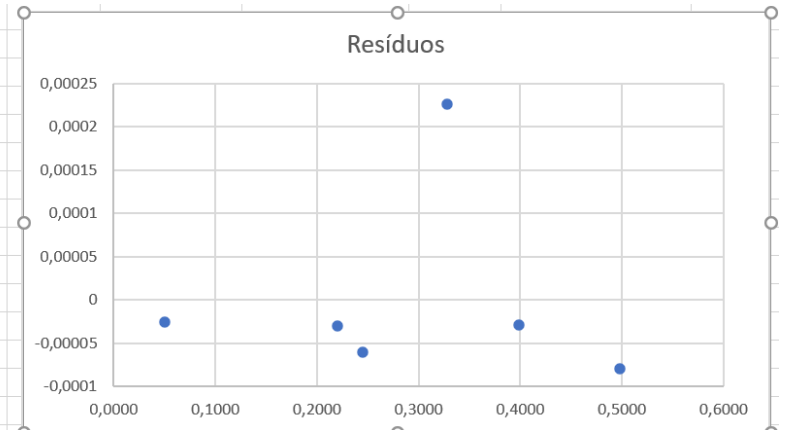
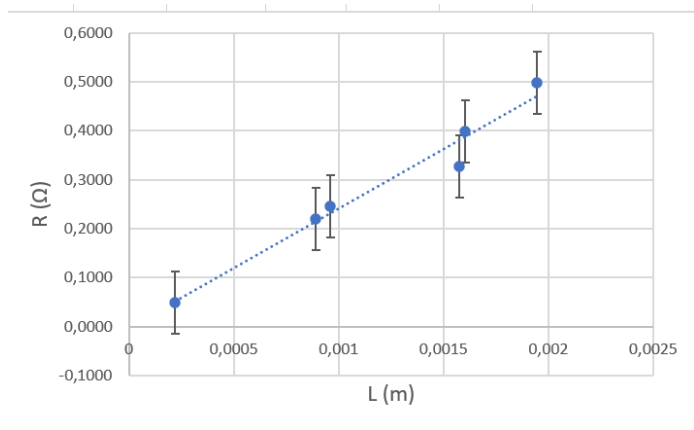
L (cm)	u(L)	Ufonte (V)	u(fonte)	I (A)	u(I)	U fechado (μ V)	u(fechado)	Uf-Ua (μ V)
5,00	0,05	12,1	0,1	1,16	0,01	258	1	257
22,00	0,05	12,3	0,1	1,19	0,01	1070	1	1061
39,90	0,05	12,8	0,1	1,23	0,01	1976	1	1972
24,50	0,05	14,4	0,1	1,41	0,01	1361	1	1354
32,80	0,05	13,0	0,1	1,27	0,01	2006	1	2002
49,80	0,05	16,3	0,1	1,59	0,01	3100	1	3094
55,30	0,05	12,0	0,1	1,17	0,01			

R(Ω)	u(R)	U aberto (μ V)	u(aberto)
0,000221552	0.000002	1	1
0,000891597	0.000008	9	1
0,001603252	0.00001	4	1
0,000960284	0.000007	7	1
0,001576378	0.00001	4	1
0,001945912	0.00001	6	1
		2	1

U aquecido (μ V)	u(aquecido)	L (m)	u(L)	Ajuste linear	Resíduos
244	1	0,0500	0,0005	0,000247451	-2,6E-05
1084	1	0,2200	0,0005	0,000922052	-3E-05
2006	1	0,3990	0,0005	0,001632367	-2,9E-05
1336	1	0,2450	0,0005	0,001021258	-6,1E-05
2080	1	0,3280	0,0005	0,001350622	0,000226
3090	1	0,4980	0,0005	0,002025223	-7,9E-05
2364	1	0,5530	0,0005	0,002243476	

m	0,0040	0,00005	b
u(m)	0,0004	0,00012	u(b)
r ²	0,97	0,0001	u(y)

d (m)	0,00523
u(d)	0,00006
U fora	2,38E-03
u (U fora)	1,00E-06
resistividade	8,5E-08
u (resistividade)	9E-09



BARRA METÁLICA 6

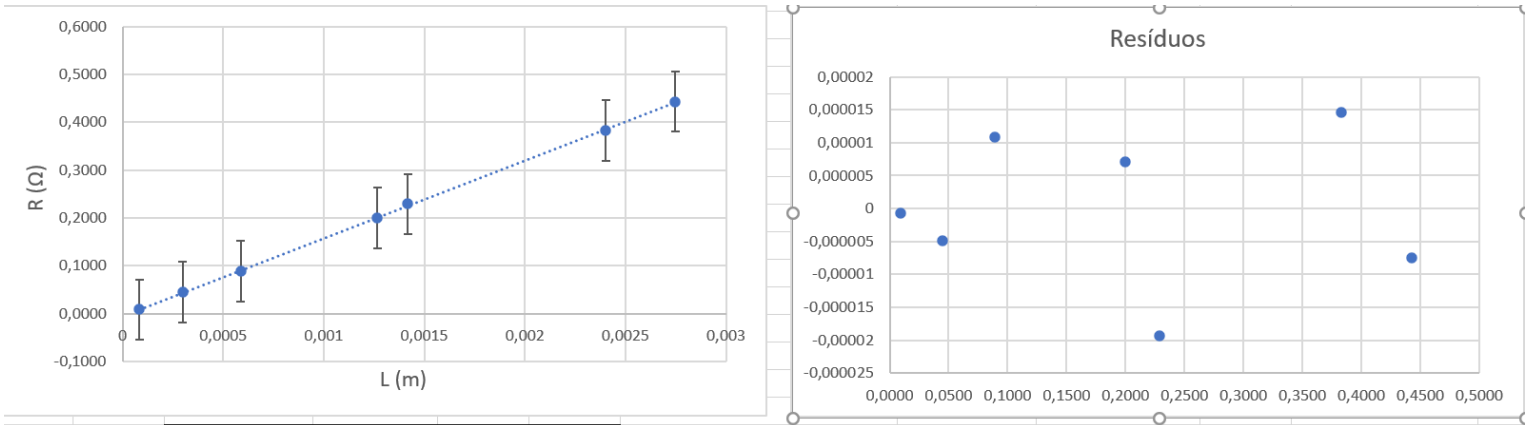
L (cm)	u(L)	Ufonte (V)	u(fonte)	I (A)	u(I)	U fechado (μV)	u(fechado)	Uf-Ua (μV)
4,50	0,05	13,9	0,1	1,35	0,01	435	1	405
20,00	0,05	14,9	0,1	1,44	0,01	1824	1	1824
38,30	0,05	14,7	0,1	1,44	0,01	3462	1	3458
22,90	0,05	15,8	0,1	1,53	0,01	2203	1	2171
0,90	0,05	12,3	0,1	1,20	0,01	102	1	99
8,90	0,05	12,4	0,1	1,21	0,01	713	1	710
44,30	0,05	12,4	0,1	1,21	0,01	3326	1	3326
50,40	0,05	15,2	0,1	1,50	0,01			


R(Ω)	u(R)	U aberto (μV)	u(aberto)
0,0003	0.000002	30	1
0,001266667	0.000009	0	1
0,002401389	0.000002	4	1
0,001418954	0.000009	32	1
0,0000825	0.000001	3	1
0,000586777	0.000005	3	1
0,00274876	0.000002	0	1
		15	1

U aquecido (μV)	u(aquecido)	L (m)	u(L)	Ajuste linear	Resíduos
433	1	0,0450	0,0005	0,000304961	-5E-06
1812	1	0,2000	0,0005	0,001259624	7,04E-06
3506	1	0,3830	0,0005	0,002386742	1,46E-05
2178	1	0,2290	0,0005	0,001438238	-1,9E-05
100	1	0,0090	0,0005	8,32324E-05	-7,3E-07
735	1	0,0890	0,0005	0,000575962	1,08E-05
3340	1	0,4430	0,0005	0,002756289	-7,5E-06
4510	1	0,5040	0,0005	0,003131995	

d (m)	0,00407
u(d)	0,00006
U fora	4,53E-03
u (U fora)	1,00E-06
resistividade	8,0E-08
u (resistividade)	2E-09

m	0,00616	0,00003	b
u(m)	0,00003	0,00001	u(b)
r ²	0,99987	0,00001	u(y)




 O gráfico que se obtém para cada barra tem o aspecto de uma reta!
 Obtém-se então o gráfico de R em função de l para cada barra.

l - comprimento da seção

Aplicou-se a Ferramenta Proj. Lin para obter alguns valores (entre eles m e b) referentes à projeção linear.

Cálculos das resistividades dos materiais

Barra metálica 1

$$\rho = \left(\frac{\pi \bar{D}^2}{4} \right) \left(\frac{R}{l} \right)$$

$$R_1 = \left(\frac{\pi \times 0,00848^2}{4} \right) \times 0,000371 = 2,07 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$$

$$\bar{D}_1 = (0,008425 \pm 0,000005) \text{ m}$$

Barra metálica 2

Como esta barra é quadrada, será utilizado exl , ou seja, \bar{D}^2 , em vez de $\frac{\pi \bar{D}^2}{4}$ na fórmula da resistividade.

$$\rho_2 = \frac{\bar{D}_2^2}{l} R = 0,008447^2 \times 0,000531 = 3,79 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$$

$$\bar{D}_2 = (0,008447 \pm 0,000006) \text{ m}$$

Barra metálica 3

$$\rho_3 = \left(\frac{\pi \times 0,008223^2}{4} \right) \times 0,00065 = 3,45 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$$

$$\bar{D}_3 = (0,008223 \pm 0,000005) \text{ m}$$

Barra metálica 4

$$\rho_4 = \left(\frac{11 \times 0,00650^2}{4} \right) \times 0,0025 = 8,3 \times 10^{-8} \Omega \text{mm}$$

$$\bar{D}_4 = (0,00650 \pm 0,00006) \text{mm}$$

Barra metálica 5

$$\rho_5 = \left(\frac{11 \times 0,00523^2}{4} \right) \times 0,0040 = 8,5 \times 10^{-8} \Omega \text{mm}$$

$$\bar{D}_5 = (0,00523 \pm 0,00006) \text{mm}$$

Barra metálica 6

$$\rho_6 = \left(\frac{11 \times 0,00407^2}{4} \right) \times 0,00616 = 8,0 \times 10^{-8} \Omega \text{mm}$$

$$\bar{D}_6 = (0,00407 \pm 0,00006) \text{mm}$$

Incertezas das resistividades: *

$$\begin{aligned} \text{Barra 1} &\Rightarrow 4 \times 10^{-10} \\ \text{Barra 2} &\Rightarrow 2 \times 10^{-10} \\ \text{Barra 3} &\Rightarrow 5 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Barra 4} &\Rightarrow 4 \times 10^{-9} \\ \text{Barra 5} &\Rightarrow 9 \times 10^{-9} \\ \text{Barra 6} &\Rightarrow 2 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

Valores das resistividades com respectivas incertezas:

$$\text{Barra 1: } \rho_1 = (2,07 \times 10^{-8} \pm 4 \times 10^{-10}) \Omega \text{mm}$$

$$\text{Barra 2: } \rho_2 = (3,79 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-10}) \Omega \text{mm}$$

$$\text{Barra 3: } \rho_3 = (3,45 \times 10^{-8} \pm 5 \times 10^{-10}) \Omega \text{mm}$$

$$\text{Barra 4: } \rho_4 = (8,3 \times 10^{-8} \pm 4 \times 10^{-9}) \Omega \text{mm}$$

$$\text{Barra 5: } \rho_5 = (8,5 \times 10^{-8} \pm 9 \times 10^{-9}) \Omega \text{mm}$$

$$\text{Barra 6: } \rho_6 = (8,0 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-9}) \Omega \text{mm}$$

* Incertezas calculadas com a expressão: $U = \sqrt{\left(\frac{x \times 8}{4} \times \pi \times 2 \times 10^{-3}\right)^2 + \left(\frac{1 \times 10^{-3}}{4}\right)^2}$

para $x = 1$
 $2 \times y = \frac{R}{L}$

~~Valores teóricos das resistividades:~~

~~$R_{\text{alumínio}} = 2,67 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$~~
 ~~$R_{\text{cobre}} = 1,72 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$~~

Partindo os valores das resistividades obtidas, poderemos chegar a algumas conclusões:

- A barra 1 apresenta um valor de resistividade próximo do valor de resistividade do cobre, o que faz sentido, porque a barra 1 era, de facto, feita de cobre.
- As barras 2 e 3 apresentam uma resistividade exp. um pouco acima da resistividade do alumínio. De facto, as barras 2 e 3 eram feitas de alumínio.
- As barras 4, 5 e 6 forneceram resistividades experimentais muito próximas umas das outras. Depois de alguma pesquisa, conclui-se que as 3 barras apresentam valores de resistividade mais ou menos próximos do níquel.

Valores teóricos de resistividades:

$$R_{\text{cobre}} = 1,72 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$$

$$R_{\text{alumínio}} = 2,67 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$$

$$R_{\text{níquel}} = 6,99 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$$

Erros (%)

Barra 1: $\text{erro}(\%) = \frac{|2,07 \times 10^{-8} - 1,72 \times 10^{-8}|}{1,72 \times 10^{-8}} \times 100 = 2,03 \times 10^1 \%$

Barra 2: $\text{erro}(\%) = \frac{|3,79 \times 10^{-8} - 2,67 \times 10^{-8}|}{2,67 \times 10^{-8}} \times 100 = 4,19 \times 10^1 \%$

Barra 3: $\text{erro}(\%) = \frac{|3,45 \times 10^{-2} - 2,67 \times 10^{-2}|}{2,67 \times 10^{-2}} \times 100 = 2,92 \times 10^1 \%$

Barra 4: $\text{erro}(\%) = \frac{|2,3 \times 10^{-2} - 6,99 \times 10^{-2}|}{6,99 \times 10^{-2}} \times 100 = 1,87 \times 10^1 \%$

Barra 5: $\text{erro}(\%) = \frac{|2,5 \times 10^{-2} - 6,99 \times 10^{-2}|}{6,99 \times 10^{-2}} \times 100 = 2,16 \times 10^1 \%$

Barra 6: $\text{erro}(\%) = \frac{|2,0 \times 10^{-2} - 6,99 \times 10^{-2}|}{6,99 \times 10^{-2}} \times 100 = 1,44 \times 10^1 \%$

- Os valores do erro percentual ($\text{erro}(\%)$) poderiam ser mais baixos se tivessem sido efetuadas mais medições para cada barra...

Conclusões

- Além do gráfico de resíduos é possível observar que os resíduos estão dispersos aleatoriamente, o que leva a concluir que os erros aleatórios não foram muito significativos. Mais uma razão que comprova que o problema relativo aos erros ($\text{erro}(\%)$) estava um pouco elevado devido de não termos efetuado medições suficientes de corrente e tensão para cada barra.

- Eu e o meu colega decidimos, aquando da atividade experimental, fazer menos medições para cada barra mas sim "estudar" e usar mais barras. Tal decisão teve consequências e não foi de certo a melhor escolha de método de trabalho. Mais valia termos usado menos barras e efetuado mais medições.

- Quando se pressiona os contactos (aquecendo) o valor da tensão da seção varia. (umas vezes aumenta, outras vezes ^{diminui})
- A resistência de uma dada seção de barra metálica é tanto maior quanto maior for a extensão/comprimimento dessa seção.
- As últimas barras que foram utilizadas continham impurezas, daí também a dificuldade em encontrar um metal cuja resistividade fosse similar.
- A ordem da na origem dos gráficos corresponde à resistência dos contactos (crocodilos), possuindo um valor bastante reduzido devido à utilização da técnica dos 4 contactos.
- Esta foi uma boa atividade experimental visto ter evidenciado e salientado a eficácia da técnica dos 4 contactos na obtenção de valores de resistências e resistividades de barras metálicas.