

T4A - Estudo da transmissão por cabo coaxial

17

Nicolau Pereira, grupo 3A, PL 6

→ Objetivos:

- ① Estudar a relação entre a amplitude do impulso refletido e a impedância da carga ligada à linha coaxial;
- ② Determinar a constante de atenuação, α ;
- ③ Determinar a velocidade de propagação de fase, v_{fase} , na linha coaxial;
- ④ Determinar a velocidade de propagação de sinal, v_{sinal} , numa linha coaxial.

→ Montagem experimental:

- Equipamento:

- gerador de impulsos (+ fonte de alimentação);

- gerador sinusoidal;

- linha coaxial;
→ $l = 61,5 \text{ m}$

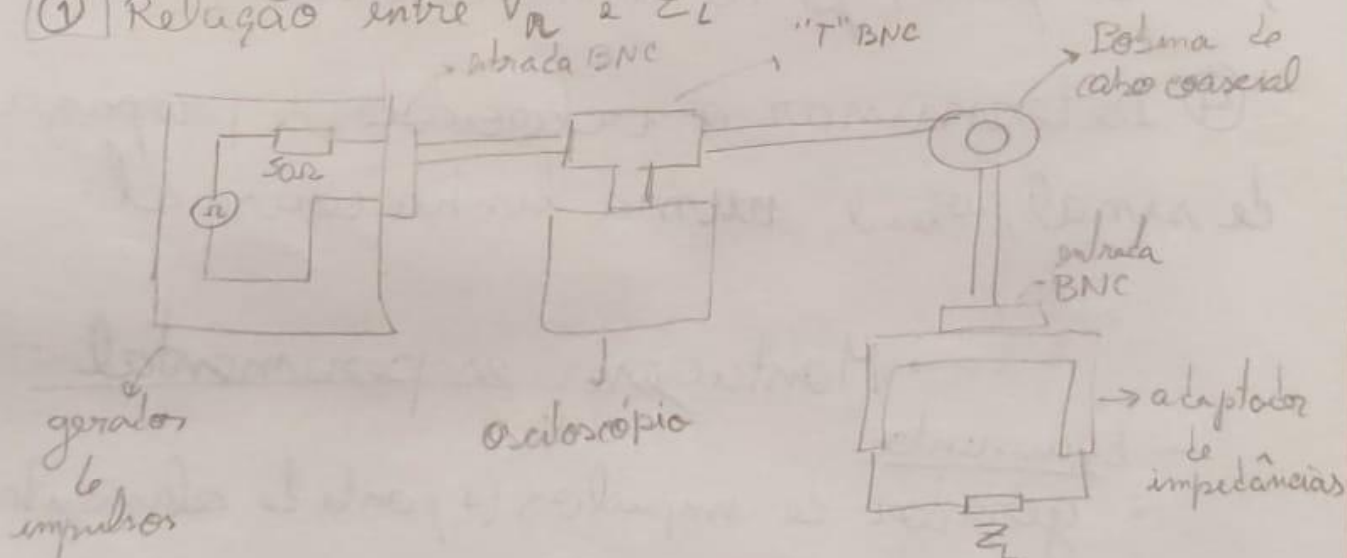
- osciloscópio;

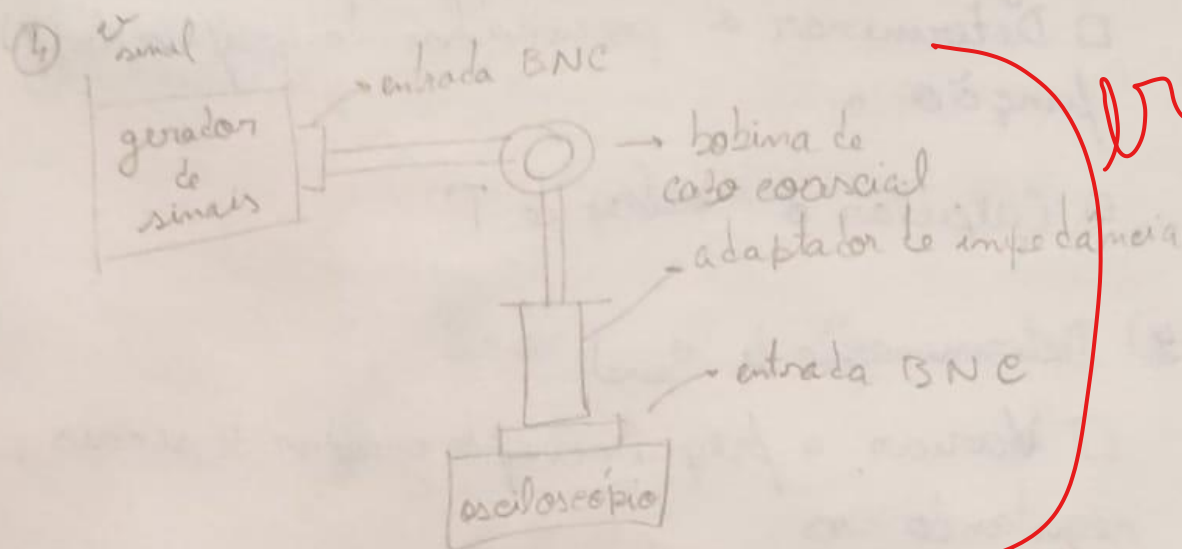
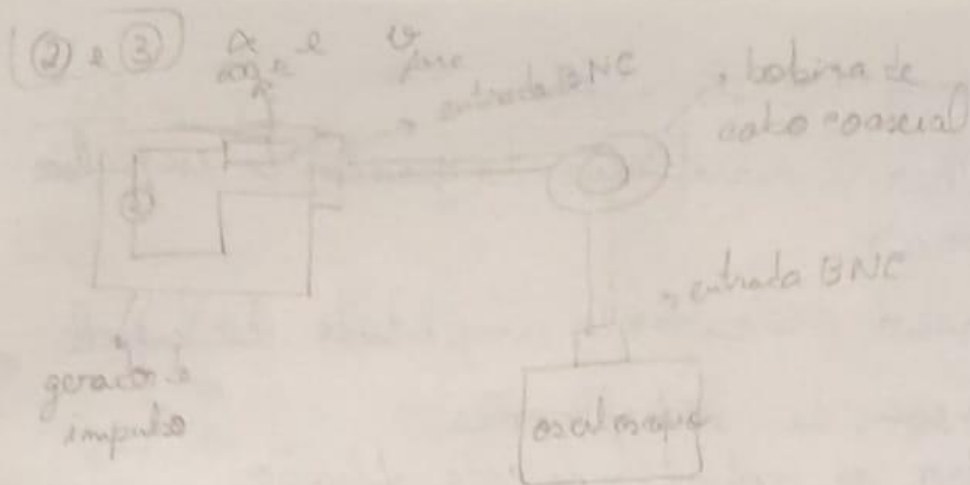
- caixa de resistências;
- ligada a uma terminação do cabo coaxial

- adaptador de impedâncias;
- ligado à outra terminação

— Esquema experimental:

① Relação entre V_R e Z_L





errado!

→ Método experimental:

- ① Estudo da relação entre V_r e Z_L
- Escolher a resistência interna do gerador
 - Determinar o valor da impedância, Z_L , para a qual não há impulso refletido ($V_r = 0$)

□ Constatar que para $Z_L \rightarrow \infty$ (circuito aberto), a constante de reflexão total $T = 1$

□ constatar que para $Z_L = 0$ (curto-circuito) o sinal é totalmente refletido $T = -1$

3) Determinação de α e V_{par}

- Escolher a resistência do gerador de impulsos (600Ω)
- Registrar os picos de amplitude de uma sequência de n reflexões
 - Registrar os instantes de cada reflexão
 - Determinar α por análise do gráfico $\ln(V)$ em função n
- Calcular o valor de T .

4) Determinação de Φ_{sinal}

- Variar a frequência do gerador de sinais, registrando-os
- Registrar a diferença de fase entre os dois sinais, Φ
- Determinar Φ através da análise do gráfico $f(\Phi)$

→ Equações em estudo:

$$\Gamma_L = \frac{V_r(l,t)}{V_i(l,t)} = \frac{-I_r(l,t)}{I_i(l,t)} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

coef.
de reflexão

amplitude do
sinal incidente

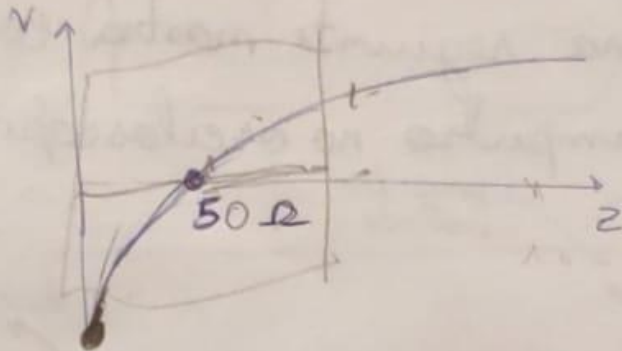
amplitude
do sinal
refletido

$$\frac{V_{111}}{V_i} = T e^{-\alpha l}, \quad l = \text{percurso entre o osciloscópio e o gerador}$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{V_n}{V_0}\right) = [\ln(T) - 2\alpha l]n$$

$$\Leftrightarrow \ln(V_n) = [\ln(T) - 2\alpha l]n + \ln(V_0), \quad V_0 \equiv \text{tensão do sinal incidente}$$

① Perfil $V_n(z)$



$$V_n = V_i - \frac{2V_i z_c}{z_c + z_L}$$

→ Quando a carga de resistência varia na cara das ondas, há um salto no valor de V_n

HL Sat
vi gráficos

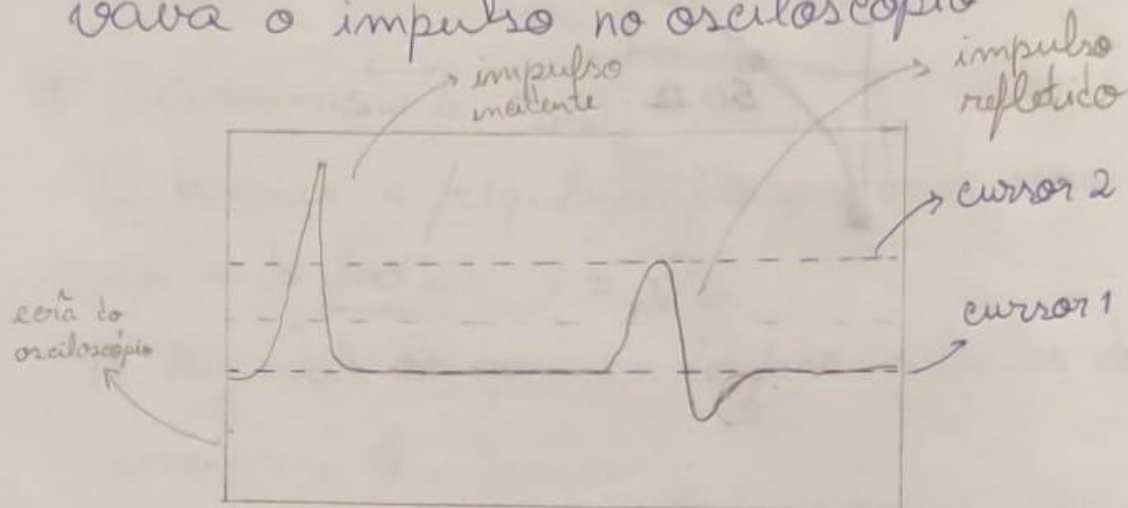
→ É de notar que, durante toda a análise de dados, exceto no cálculo do coef. de atenuação, as barras de erro não são representadas nos gráficos porque não são visíveis.

• → Análise de dados:

① Relação entre Z_L e V_r

Os valores observados no osciloscópio ao longo da experiência não apresentavam apenas um pico, como se esperaria.

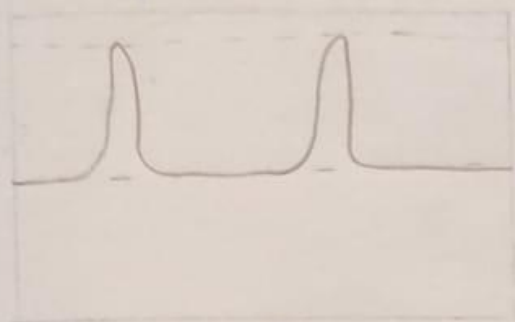
O esquema seguinte mostra como se observava o impulso no osciloscópio.



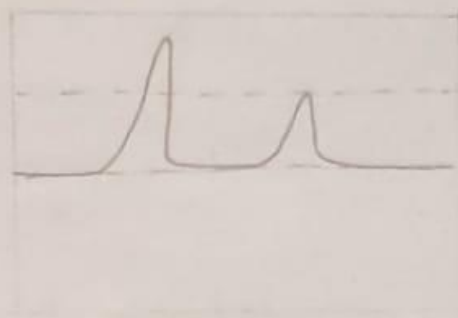
Os valores foram registrados tomando o cursor 1 como ~~valor~~ "zero" e, utilizando o cursor 2, medindo o valor dos dois picos. O valor de V_r era então a soma desses dois valores.

Algo que não estávamos à espera de observar é que o sinal refletido para o circuito aberto não tinha o mesmo ~~mesmo~~ $V_r = -V_i$. O mesmo para curto-circuito. Isto poderá ~~ter~~ ter acontecido por haver defeito no ~~osciloscópio~~ cabo coaxial, ou até mesmo no osciloscópio.

→ curto-circuito:



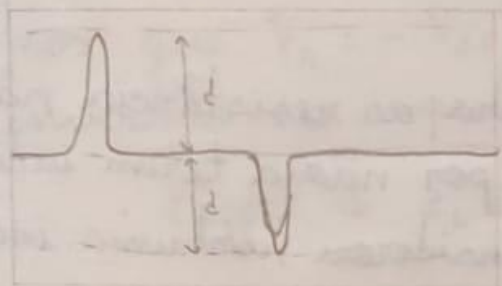
→ esperado



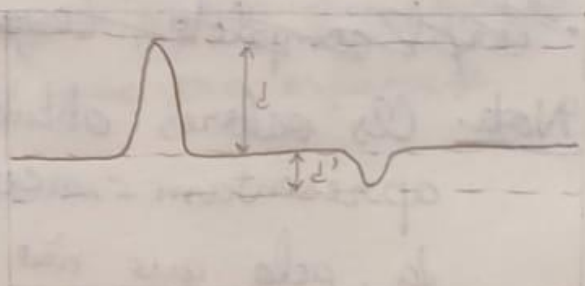
→ observado

→ circuito aberto:

→ esperado



→ observado



Apesar disso, constatamos que $V_{ce} = -V_{ca}$, o que vai de encontro ao esperado.

curto-circuito circuito aberto

$Z_L (\Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$
0	-2,42	0,01
1	-2,35	0,01
2	-2,28	0,01
3	-2,16	0,01
4	-2,06	0,01
5	-1,99	0,01
6	-1,92	0,01
7	-1,83	0,01
8	-1,80	0,01
9	-1,74	0,01
10	-1,64	0,01
11	-1,59	0,01
12	-1,51	0,01
13	-1,47	0,01
14	-1,41	0,01
15	-1,36	0,01
16	-1,31	0,01
17	-1,25	0,01
18	-1,20	0,01
19	-1,16	0,01
20	-1,11	0,01
21	-1,07	0,01
22	-1,03	0,01
23	-0,99	0,01
24	-0,94	0,01
25	-0,91	0,01
26	-0,86	0,01

$Z_L (\Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$
27	-0,83	0,01
28	-0,78	0,01
29	-0,74	0,01
30	-0,74	0,01
31	-0,70	0,01
32	-0,66	0,01
33	-0,64	0,01
34	-0,59	0,01
35	-0,57	0,01
36	-0,52	0,01
37	-0,48	0,01
38	-0,44	0,01
39	-0,40	0,01
40	-0,427	0,001
41	-0,400	0,001
42	-0,365	0,001
43	-0,326	0,001
44	-0,297	0,001
45	-0,259	0,001
46	-0,221	0,001
47	-0,191	0,001
48	-0,168	0,001
49	-0,135	0,001
50	-0,190	0,001
51	-0,168	0,001
52	-0,123	0,001
53	-0,101	0,001

$Z_L (\Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$
54	-0,067	0,001
55	-0,034	0,001
56	0,000	0,001
57	0,053	0,001
58	0,066	0,001
59	0,119	0,001
60	0,093	0,001
61	0,133	0,001
62	0,146	0,001
63	0,173	0,001
64	0,212	0,001
65	0,239	0,001
66	0,265	0,001
67	0,279	0,001
68	0,32	0,01
69	0,35	0,01
70	0,293	0,001
71	0,321	0,001
72	0,340	0,001
73	0,378	0,001
74	0,397	0,001
75	0,42	0,01
76	0,44	0,01
77	0,46	0,01
78	0,49	0,01
79	0,51	0,01
80	0,463	0,001

$Z_L (\Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$
81	0,491	0,001
82	0,500	0,001
83	0,52	0,01
84	0,55	0,01
85	0,57	0,01
86	0,59	0,01
87	0,61	0,01
88	0,62	0,01
89	0,64	0,01
90	0,62	0,01
91	0,63	0,01
92	0,66	0,01
93	0,57	0,01
94	0,68	0,01
95	0,69	0,01
96	0,71	0,01
97	0,73	0,01
98	0,75	0,01
99	0,77	0,01
100	0,744	0,001
200	1,40	0,01
400	1,84	0,01
800	2,12	0,01
1600	2,27	0,01
3200	2,34	0,01
6400	2,38	0,01
12800	2,40	0,01

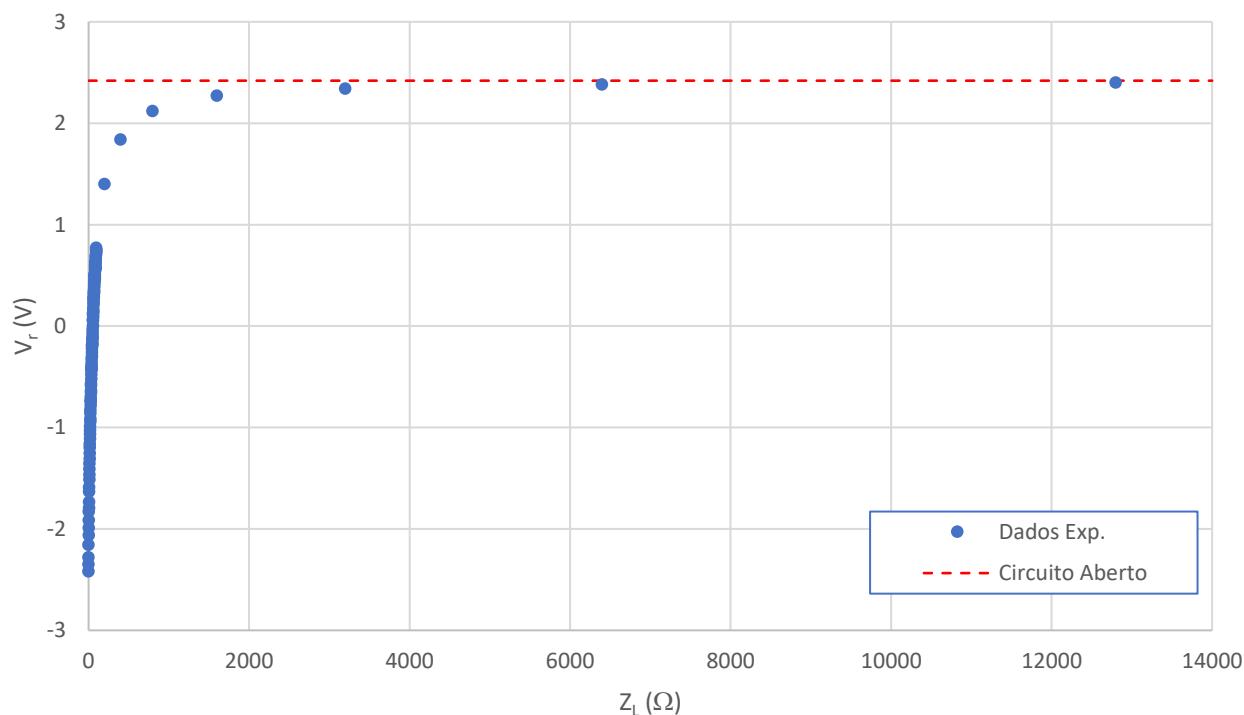
$V_{cc} (V) =$	2,42
----------------	------

• Perfil completo, ~~teste~~

Nota: Os valores obtidos para a resistência não apresentam incerteza por não a terem indicada, pelo que não se considerou nenhuma incerteza.

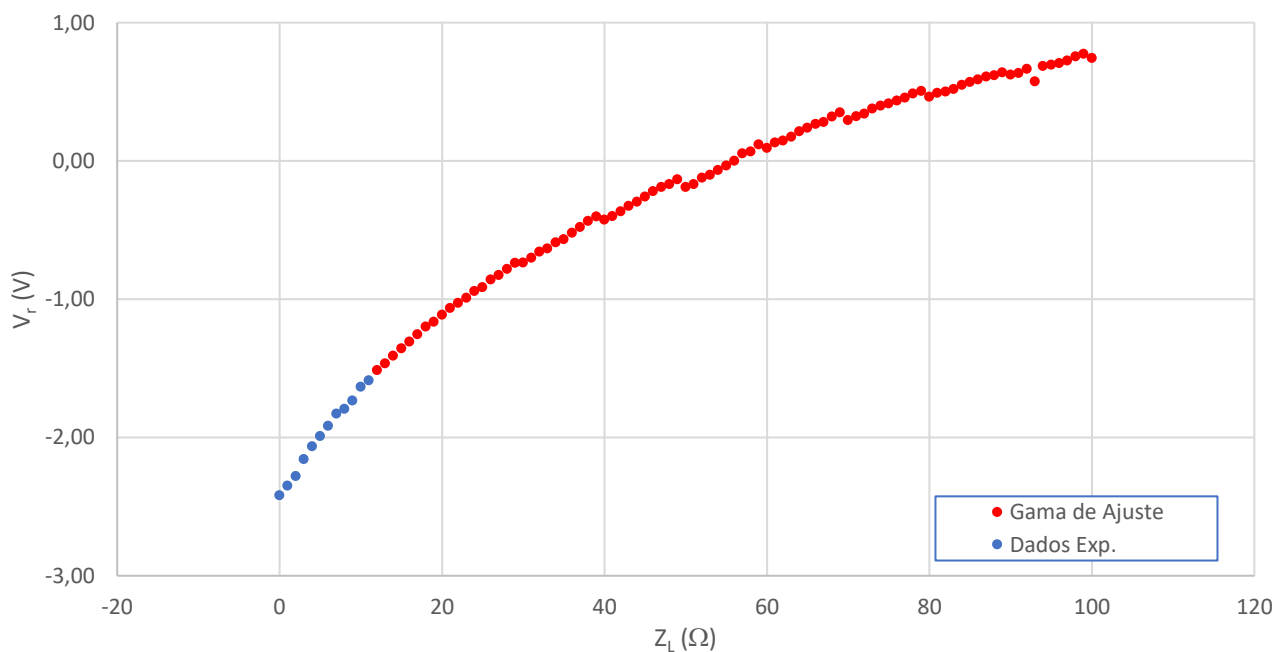
O mesmo acontece para o valor de $Z_0 = 50\Omega$, que, apesar de ser o valor indicado pelo aparelho, não transmite grande confiança e pode representar um erro na experiência.

• Perfil completo, $Z_L \in [0, 12800] \Omega$



• Analisando o perfil completo, vemos que com o aumento de Z_L , o valor de V_r tende para o valor de curto circuito, o que era de esperar, já que curto-circuito $\Leftrightarrow Z_L \rightarrow \infty$. Quando $Z_L = 0$, temos que $V_r = -V_{cc}$, o que indica que houve inversão no impulso, o que era esperado.

• Perfil de $Z_L \in [0; 100] \Omega$



Atentando agora na zona em que a curva cruza o $V_r = 0$, ~~os pontos escolhidos~~ verificou-se experimentalmente que o impulso não se reflete para $Z_{exp} = 56 \Omega$. Assim, escolheu-se a gama $Z_L \in [12; 100] \Omega$ para fazer um ajuste polinomial, para que houvesse a mesma quantidade de dados à esquerda e à direita de $V_r = 0$, já que é o ponto que queremos estudar.

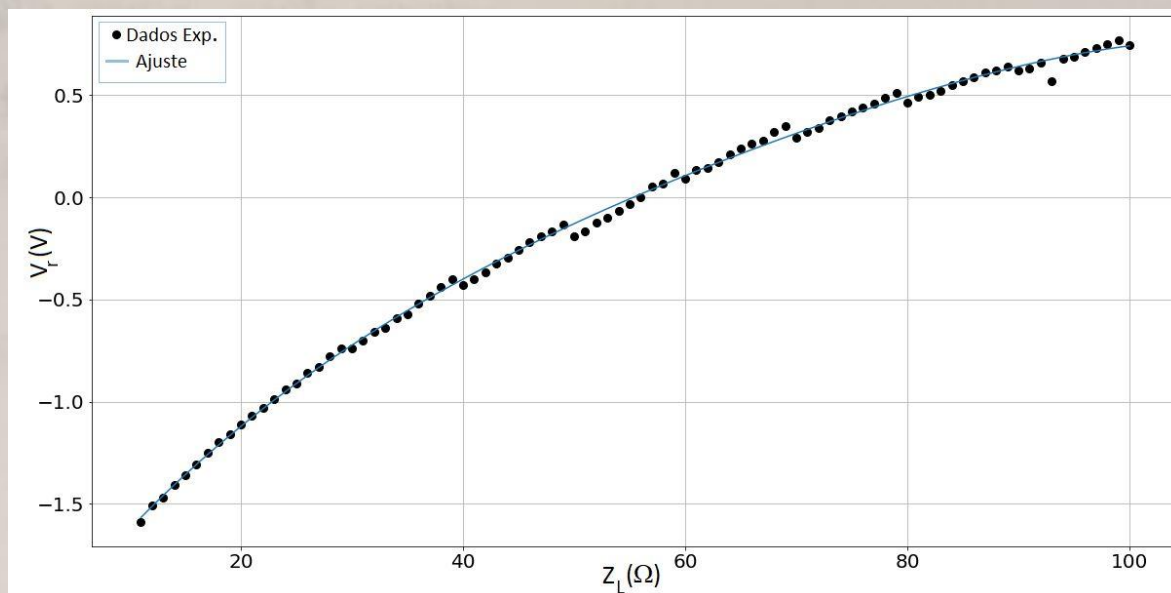
Os ajustes ~~estes~~ ^{polinomiais} estudo foram feitos recorrendo ao Python.

→ Ajuste 1

$Z_L (\pm \Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$	$V_{raj1} (V)$	$Res(V_{raj1}) (V)$
12	-1,51	0,01	-1,51	-0,01
13	-1,47	0,01	-1,45	0,01
14	-1,41	0,01	-1,40	0,01
15	-1,36	0,01	-1,35	0,004
16	-1,31	0,01	-1,30	0,01
17	-1,25	0,01	-1,25	0,000
18	-1,20	0,01	-1,21	-0,01
19	-1,16	0,01	-1,16	0,004
20	-1,11	0,01	-1,12	-0,001
21	-1,07	0,01	-1,07	-0,01
22	-1,03	0,01	-1,03	-0,001
23	-0,99	0,01	-0,99	0,003
24	-0,94	0,01	-0,95	-0,004
25	-0,91	0,01	-0,91	0,01
26	-0,86	0,01	-0,87	-0,01
27	-0,83	0,01	-0,83	-0,002
28	-0,78	0,01	-0,79	-0,01
29	-0,74	0,01	-0,75	-0,01
30	-0,74	0,01	-0,72	0,02
31	-0,70	0,01	-0,68	0,02
32	-0,66	0,01	-0,65	0,01
33	-0,64	0,01	-0,61	0,02
34	-0,59	0,01	-0,58	0,01
35	-0,57	0,01	-0,55	0,02
36	-0,52	0,01	-0,52	0,01
37	-0,48	0,01	-0,48	-0,01
38	-0,44	0,01	-0,45	-0,02
39	-0,40	0,01	-0,42	-0,02
40	-0,427	0,001	-0,39	0,03
41	-0,400	0,001	-0,36	0,04

$Z_L (\pm \Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$	$V_{raj1} (V)$	$Res(V_{raj1}) (V)$
42	-0,365	0,001	-0,34	0,03
43	-0,326	0,001	-0,31	0,02
44	-0,297	0,001	-0,28	0,02
45	-0,259	0,001	-0,25	0,01
46	-0,221	0,001	-0,22	-0,003
47	-0,191	0,001	-0,20	-0,01
48	-0,168	0,001	-0,17	-0,003
49	-0,135	0,001	-0,15	-0,01
50	-0,19	0,001	-0,12	0,07
51	-0,168	0,001	-0,09	0,07
52	-0,123	0,001	-0,07	0,05
53	-0,101	0,001	-0,05	0,06
54	-0,067	0,001	-0,02	0,05
55	-0,034	0,001	0,00	0,04
56	0	0,001	0,03	0,03
57	0,053	0,001	0,05	-0,004
58	0,066	0,001	0,07	0,01
59	0,119	0,001	0,09	-0,02
60	0,093	0,001	0,12	0,02
61	0,133	0,001	0,14	0,01
62	0,146	0,001	0,16	0,02
63	0,173	0,001	0,18	0,01
64	0,212	0,001	0,20	-0,01
65	0,239	0,001	0,22	-0,01
66	0,265	0,001	0,25	-0,02
67	0,279	0,001	0,27	-0,01
68	0,32	0,01	0,29	-0,03
69	0,35	0,01	0,31	-0,04
70	0,293	0,001	0,33	0,03
71	0,321	0,001	0,34	0,02

$Z_L (\pm \Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$	$V_{raj1} (V)$	$Res(V_{raj1}) (V)$
72	0,340	0,001	0,36	0,02
73	0,378	0,001	0,38	0,004
74	0,397	0,001	0,40	0,004
75	0,42	0,01	0,42	0,004
76	0,44	0,01	0,44	0,002
77	0,46	0,01	0,45	-0,001
78	0,49	0,01	0,47	-0,01
79	0,51	0,01	0,49	-0,02
80	0,463	0,001	0,50	0,04
81	0,491	0,001	0,52	0,03
82	0,500	0,001	0,54	0,04
83	0,52	0,01	0,55	0,03
84	0,55	0,01	0,57	0,02
85	0,57	0,01	0,58	0,01
86	0,59	0,01	0,59	0,004
87	0,61	0,01	0,61	-0,002
88	0,62	0,01	0,62	0,001
89	0,64	0,01	0,63	-0,01
90	0,62	0,01	0,64	0,02
91	0,63	0,01	0,66	0,02
92	0,66	0,01	0,67	0,002
93	0,57	0,01	0,68	0,1
94	0,68	0,01	0,69	0,002
95	0,69	0,01	0,69	0,001
96	0,71	0,01	0,70	-0,002
97	0,73	0,01	0,71	-0,01
98	0,75	0,01	0,72	-0,04
99	0,77	0,01	0,72	-0,05
100	0,744	0,001	0,73	-0,02

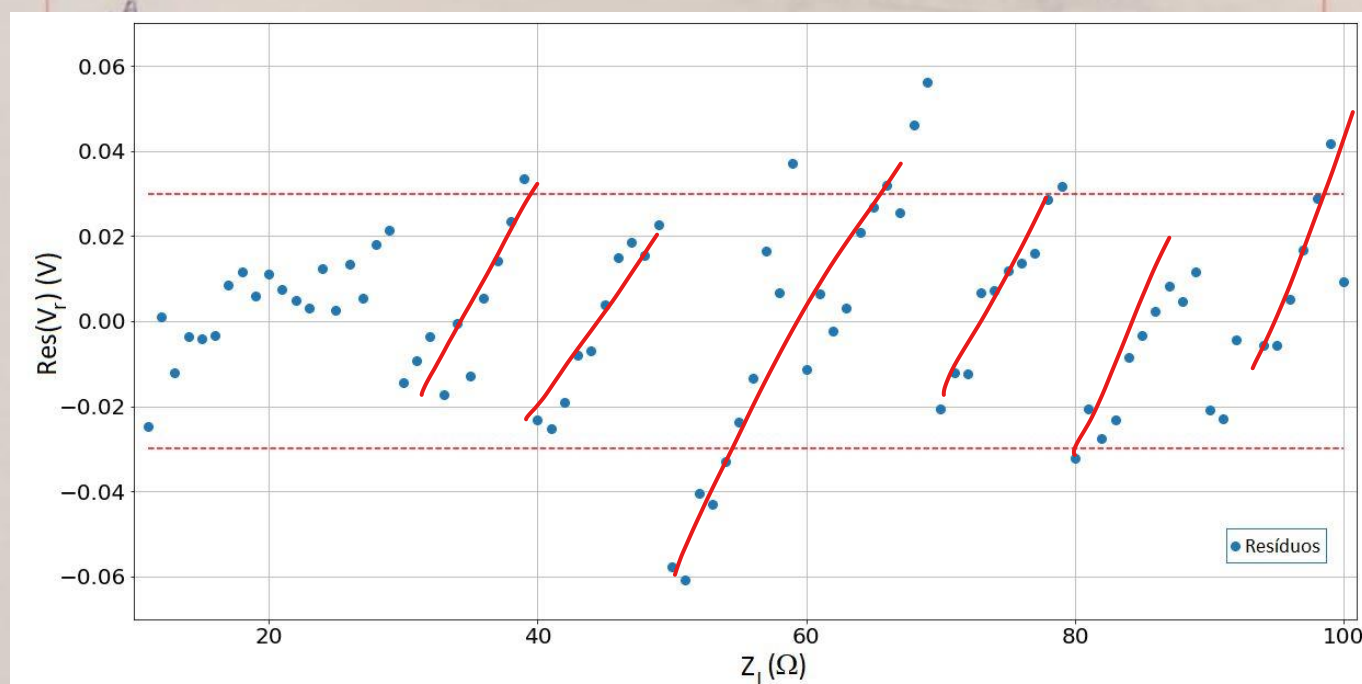


Ajuste 1		
	valor	u(valor)
$b =$	-2,26	0,04
$a_1 =$	0,073	0,004
$a_2 =$	-0,0009	0,0001
$a_3 =$	8E-06	2E-06
$a_4 =$	-3,3E-08	8E-09
$\sigma_{Vr_{aj}} =$	0,02	
$r^2 =$	0,9987	

Fez-se um ajuste polinomial de grau 4, do tipo

$$y = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4$$

cujos coeficientes estão representados na tabela ao lado.



Olhando para os resíduos, são claros alguns pontos que se desviam dos restante e que estão fora do intervalo de $[-\sigma, \sigma]$ (linhas vermelhas).

Ainda assim, os resíduos aparentam uma aleatoriedade, o que indica que não haverá erros sistemáticos presentes e que o ajuste feito ~~está~~ se ajusta bem aos dados. \rightarrow "será" \Rightarrow existem!

Através da expressão obtida, calculou-se o valor de Z_L para o qual $V_n = 0$;

$$Z_e = 55,3,$$

que comparativamente ao valor experimental apresenta um erro percentual de 1,25% e relativamente ao valor teórico ($Z_e = 50 \Omega$) de 10,6%.

Fez-se, então, um novo ajuste, retirando os valores que estão fora do intervalo do desvio padrão (valores assinalados a vermelho na tabela).

\rightarrow Ajuste 2

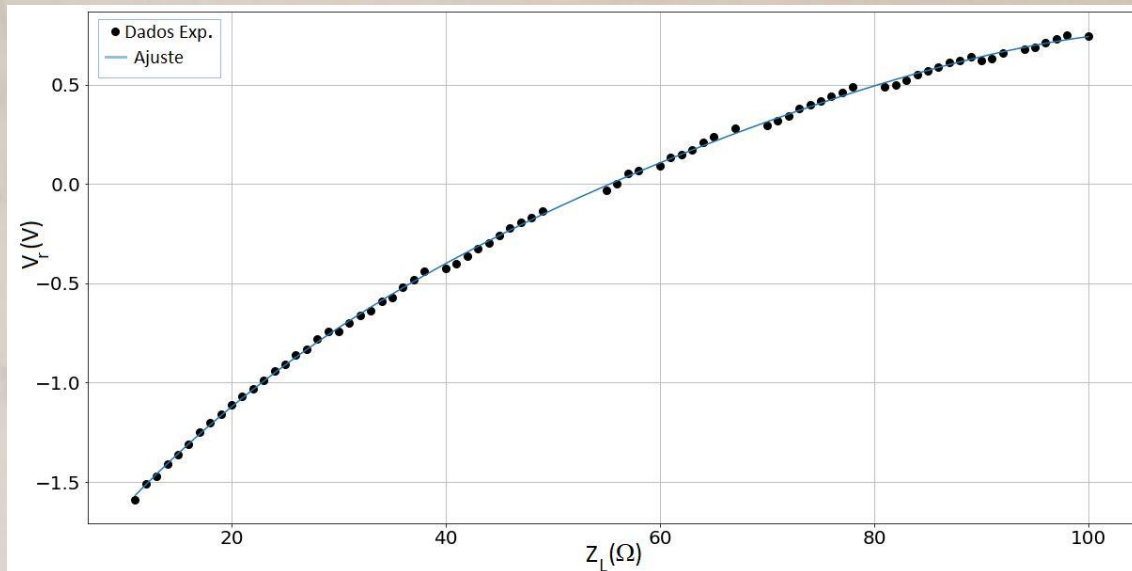
\rightarrow é um critério discutível...

$Z_L (\pm \Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$	$V_{raj2} (V)$	$Res(V_{raj2}) (V)$
12	-1,51	0,01	-1,51	-0,0001
13	-1,47	0,01	-1,45	0,01
14	-1,41	0,01	-1,40	0,01
15	-1,36	0,01	-1,35	0,004
16	-1,31	0,01	-1,30	0,01
17	-1,25	0,01	-1,25	0,0003
18	-1,20	0,01	-1,21	-0,01
19	-1,16	0,01	-1,16	0,004
20	-1,11	0,01	-1,12	-0,001
21	-1,07	0,01	-1,07	-0,01
22	-1,03	0,01	-1,03	-0,001
23	-0,99	0,01	-0,99	0,003
24	-0,94	0,01	-0,95	-0,004
25	-0,91	0,01	-0,91	0,01
26	-0,86	0,01	-0,87	-0,01
27	-0,83	0,01	-0,83	-0,002
28	-0,78	0,01	-0,79	-0,01
29	-0,74	0,01	-0,75	-0,01
30	-0,74	0,01	-0,72	0,02
31	-0,70	0,01	-0,68	0,02
32	-0,66	0,01	-0,65	0,01
33	-0,64	0,01	-0,61	0,02
34	-0,59	0,01	-0,58	0,01
35	-0,57	0,01	-0,55	0,02
36	-0,52	0,01	-0,52	0,01
38	-0,44	0,01	-0,45	-0,02
39	-0,40	0,01	-0,42	-0,02
40	-0,427	0,001	-0,39	0,03
41	-0,400	0,001	-0,36	0,04

$Z_L (\pm \Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$	$V_{raj2} (V)$	$Res(V_{raj2}) (V)$
42	-0,365	0,001	-0,34	0,03
43	-0,326	0,001	-0,31	0,02
44	-0,297	0,001	-0,28	0,02
45	-0,259	0,001	-0,25	0,01
46	-0,221	0,001	-0,22	-0,003
54	-0,067	0,001	-0,02	0,05
55	-0,034	0,001	0,00	0,04
56	0	0,001	0,03	0,03
58	0,066	0,001	0,07	0,01
59	0,119	0,001	0,09	-0,02
60	0,093	0,001	0,12	0,02
61	0,133	0,001	0,14	0,01
62	0,146	0,001	0,16	0,02
63	0,173	0,001	0,18	0,01
64	0,212	0,001	0,20	-0,01
66	0,265	0,001	0,25	-0,02
69	0,35	0,01	0,31	-0,04
70	0,293	0,001	0,33	0,03
71	0,321	0,001	0,34	0,02
72	0,340	0,001	0,36	0,02
73	0,378	0,001	0,38	0,004
74	0,397	0,001	0,40	0,004
75	0,42	0,01	0,42	0,004
76	0,44	0,01	0,44	0,002
79	0,51	0,01	0,49	-0,02
80	0,463	0,001	0,50	0,04
81	0,491	0,001	0,52	0,03
82	0,500	0,001	0,54	0,04
83	0,52	0,01	0,55	0,03
84	0,55	0,01	0,57	0,02

$Z_L (\pm \Omega)$	$V_r (V)$	$u(V_r) (V)$	$V_{raj2} (V)$	$Res(V_{raj2}) (V)$
85	0,57	0,01	0,58	0,01
86	0,59	0,01	0,59	0,004
87	0,61	0,01	0,61	-0,002
88	0,62	0,01	0,62	0,001
89	0,64	0,01	0,63	-0,01
90	0,62	0,01	0,64	0,02
91	0,63	0,01	0,66	0,02
93	0,57	0,01	0,68	0,1
94	0,68	0,01	0,69	0,002
95	0,69	0,01	0,69	0,001
96	0,71	0,01	0,70	-0,002
97	0,73	0,01	0,71	-0,01
98	0,75	0,01	0,72	-0,04
100	0,744	0,001	0,73	-0,02

até porque
são dados "em
cima" de Z_e !



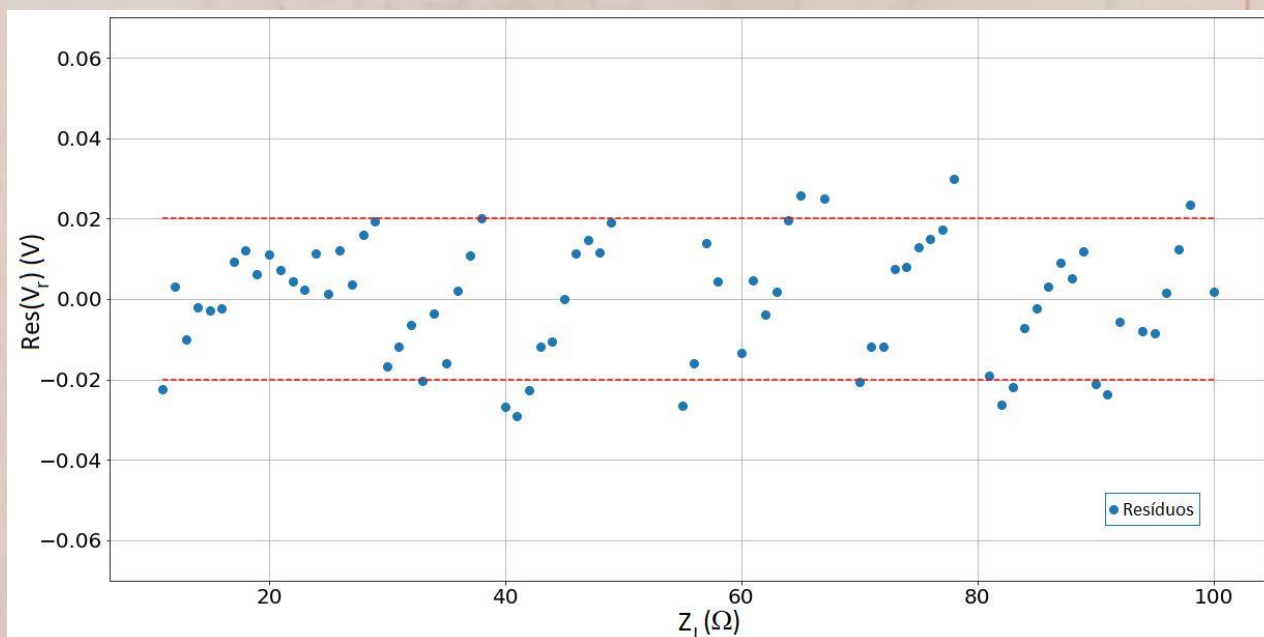
matriz aj 2

Ajuste 2		
	valor	u(valor)
$b =$	-2,27	0,02
$a_1 =$	0,073	0,003
$a_2 =$	-0,0009	0,00009
$a_3 =$	8E-06	1E-06
$a_4 =$	-3,0E-08	6E-09
$\sigma_{V_{raj}} =$	0,01	
$r^2 =$	0,9996	

Fiz-se novamente um ajuste do tipo

$$y = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4$$

e os coeficientes encontram-se na tabela ao lado. Desta vez obtiveram-se melhores valores de $\sigma_{V_{raj}}$ e r^2 do que no primeiro ajuste.



Desta vez, marcou-se um intervalo de $[-2\sigma, 2\sigma]$, já que o valor de σ é muito baixo, o que faz com que a maioria dos resíduos seja maior do que σ .

De facto, os resíduos encontram-se todos dentro desse intervalo. A alabriadade dos pontos continua a verificar-se, o que indica um bom ajuste da equação obtida aos dados experimentais.

Obteve-se analiticamente um valor de Z_L para $V_r = 0$,

$$Z_e = 55,4 \Omega,$$

o que se traduz num erro ~~de~~ percentual relativo ao valor experimental de ~~1,7~~ 11,8% e do teórico de ~~11,8~~ 1,7%.

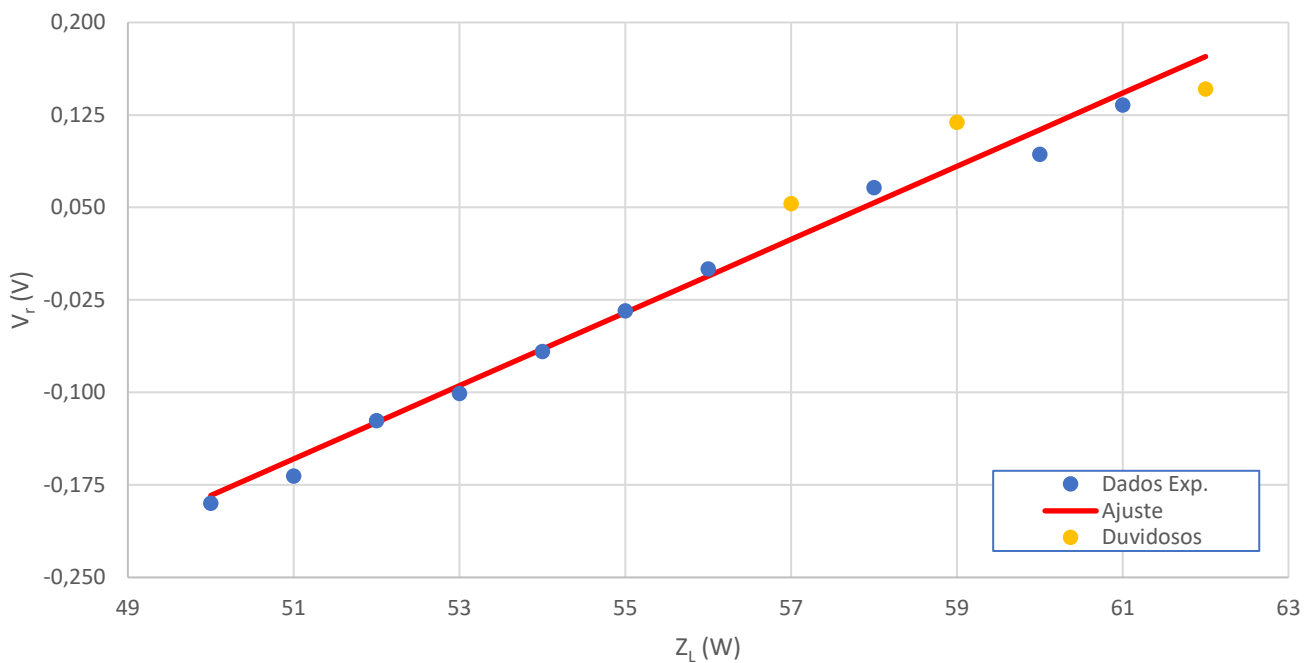
→ Determinação de Z_0 utilizando pontos da vizinhança

Outra maneira que se utilizou para determinar Z_0 foi escolhendo uma pequena gama de pontos em torno de Z_{0exp} , $Z_L \in [50; 62]$, e fazendo um ajuste linear a partir da função "proclm" do Excel.

→ Ajuste 1

$Z_L (\pm \Omega)$	$V_r (\pm 0,001V)$	$V_{raj} (V)$	$Res(V_r) (V)$
50	-0,190	-0,18	0,006
51	-0,168	-0,15	0,014
52	-0,123	-0,12	-0,001
53	-0,101	-0,09	0,006
54	-0,067	-0,06	0,002
55	-0,034	-0,04	-0,001
56	0,000	-0,01	-0,006
57	0,053	0,02	-0,029
58	0,066	0,05	-0,012
59	0,119	0,08	-0,036
60	0,093	0,11	0,020
61	0,133	0,14	0,010
62	0,146	0,17	0,026

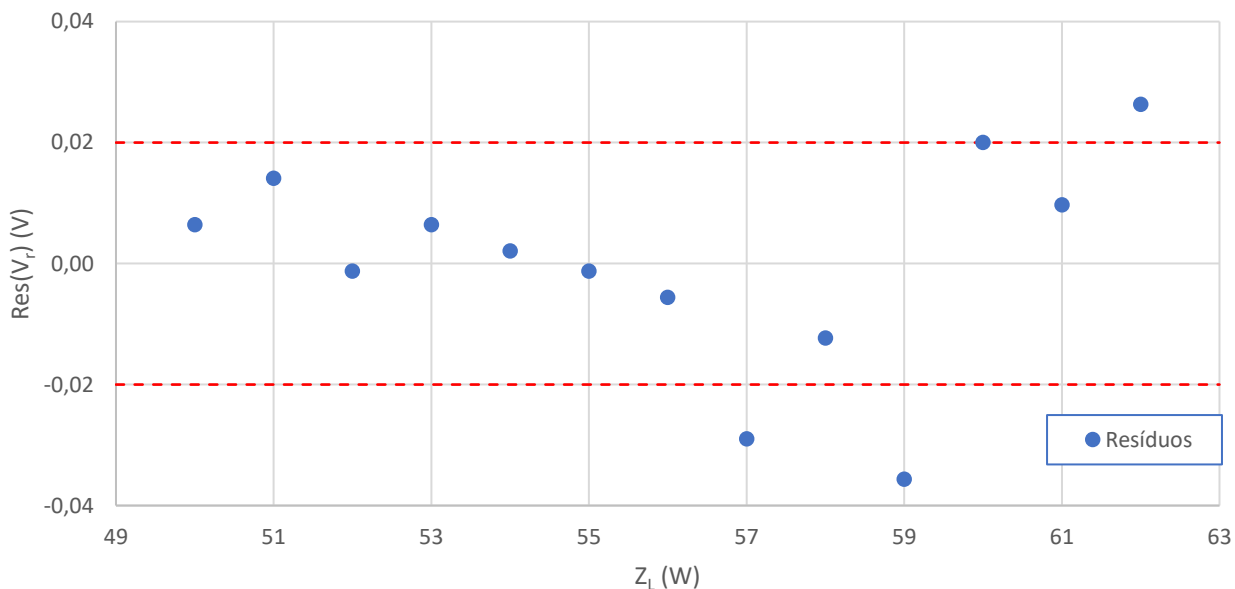
Má recomendação



m	0,030	-1,67	b
σ_m	0,001	0,08	σ_b
r^2	0,977	0,02	$\sigma_{V_{raj}}$

$u(V_{raj})$ (V)	0,04
------------------	------

No gráfico do ajuste é já possível ver que alguns dados ~~aparecem~~ se afastam mais da tendência.



Nos resíduos, são de notar os 3 pontos que não se encontram no intervalo de $[-\sigma_{V_{raj}}; +\sigma_{V_{raj}}]$, que foram assinalados a amarelo no gráfico do ajuste. É importante salientar a aleatoriedade dos valores.

o que demonstra um bom ajuste da equação linear obtida aos valores experimentais.

Partindo dos coeficientes obtidos, calcula-se Z_e

$$Z_e = \frac{-b}{m} = 56,19 \Omega$$

$$u(Z_e) = 3 \Omega$$

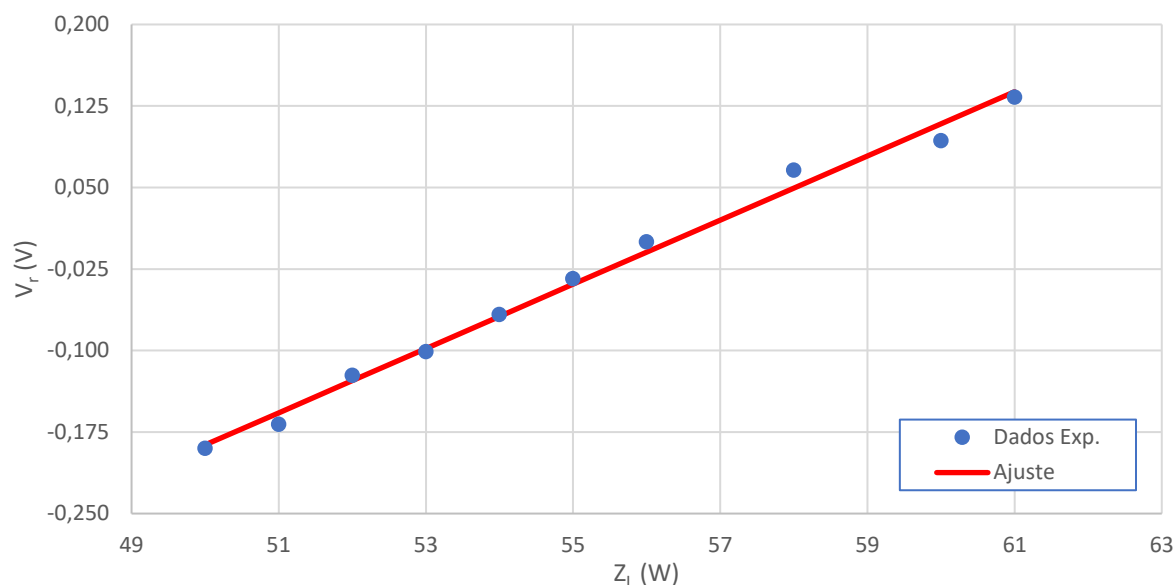
$$\Rightarrow Z_e = (56 \pm 3) \Omega$$

com uma incerteza relativa de 5% e um erro percentual de 0% relativamente a Z_{exp} e de 12% relativamente a Z_{et} .

Foi então feito um novo ajuste retirando os 3 pontos divergentes.

→ Ajuste 2

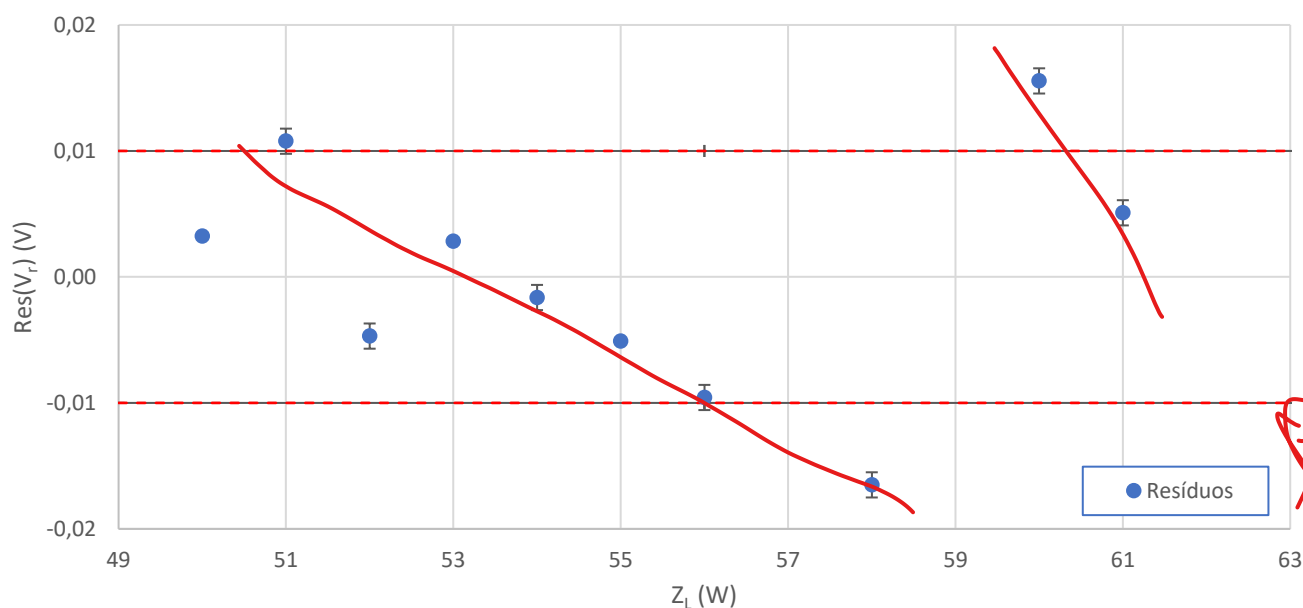
$Z_L (\pm \Omega)$	$V_r (\pm 0,001V)$	$V_{raj} (V)$	$Res(V_r) (V)$
50	-0,190	-0,19	0,003
51	-0,168	-0,16	0,011
52	-0,123	-0,13	-0,005
53	-0,101	-0,10	0,003
54	-0,067	-0,07	-0,002
55	-0,034	-0,04	-0,005
56	0,000	-0,01	-0,010
58	0,066	0,05	-0,017
60	0,093	0,11	0,016
61	0,133	0,14	0,005



m	0,0295	-1,66	b
σ_m	0,0009	0,05	σ_b
r^2	0,993	0,01	$\sigma_{V_{raj}}$

$u(V_{raj})$ (V)	0,02
------------------	------

Ainda há alguns pontos que distam do ajuste, mas já é menos evidente neste ajuste a disparidade entre a reta e os pontos experimentais.



No ajuste 2, mantém-se a aleatoriedade dos resíduos e ainda há pontos fora do intervalo $[-\sigma, \sigma]$. Ainda assim, não foi feito outro ajuste, já que não ~~justificava~~ a disparidade não justificava ~~aparecer~~ mais dois retirá-los. Para além disso, se fossem retirados, ficávamos apenas com um ponto acima da zona que queremos estudar.

Analogamente ao primeiro ajuste, obteve-se

$$Z_e = 56,32 \Omega$$

$$\Rightarrow u_r(Z_e) = 5\%$$

$$u(Z_e) = 3 \Omega$$

$$\Rightarrow Z_e = (56 \pm 3) \Omega,$$

que é exatamente o mesmo valor obtido no 1º ajuste.

Apresenta um erro % de 0% relativamente a $Z_{0 \text{ exp}}$ e de 12%, relativamente a $Z_{0 t}$.

② Determinação de α e φ_{fase}

Neste estudo, condizou-se $Z_e = (56 \pm 3) \Omega$, valor obtido através ~~de~~ ~~estes~~ ~~pontos de~~ ~~origem~~ na parte final do estudo anterior. Escolheu-se este valor por ser aquele que mais se aproxima do valor obtido experimentalmente (que, por acaso, coincide).

~~Uma vez que Z_e podemos então calcular Γ :~~

Uma vez que neste estudo $Z_L = 600 \Omega$ se mantém fixo, podemos calcular Γ :

$$\Gamma = \frac{600 - 56}{600 + 56} = 0,82927$$

$$u(\Gamma) = 0,008 \Rightarrow u_r(\Gamma) = 1\%$$

$$\Rightarrow \Gamma = 0,829 \pm 0,008$$

Também podemos calcular $\ln(\Gamma)$ que será útil mais à frente:

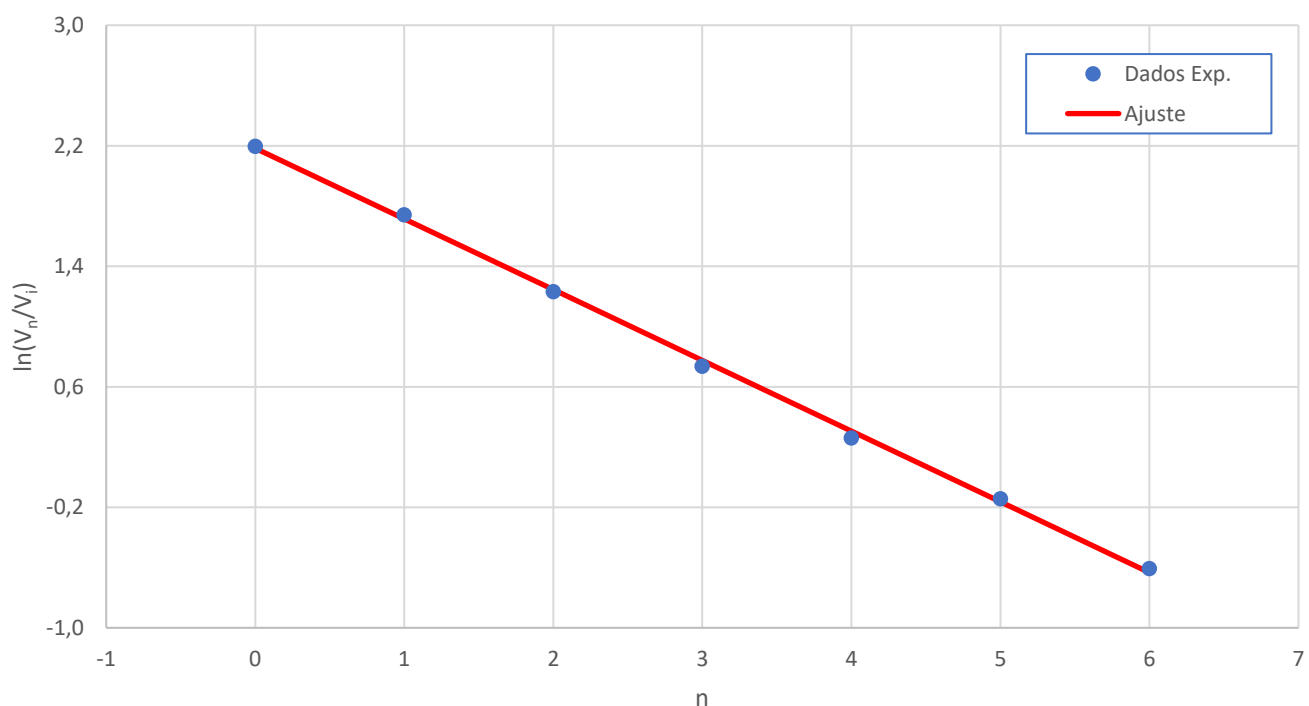
$$\ln(\Gamma) = -0,187$$

$$u(\ln(\Gamma)) = 0,01 \Rightarrow u_r(\ln(\Gamma)) = 5\%$$

$$\Rightarrow \ln(\Gamma) = -0,19$$

Passando, agora, aos dados obtidos, foram observadas no osciloscópio 7 reflexões do sinal. Para cada uma dessas ~~oscilações~~ reflexões, obtinha-se a tensão do sinal, utilizando um cursor como "zero" e medindo o valor no pico do sinal com o outro. Para os dados de V obtidos, obtinha-se o valor de $\ln(V)$ para que se pudesse obter o gráfico de $\ln(V)$ em função de n . Foi então feito um ajuste linear aos dados.

n	V_i (V)	$u(V_i)$	$\ln(V_i)$	$u(\ln(V_i))$	$\ln(V_i)_{aj}$	$\text{Res}(\ln(V_i))$
0	9,00	0,01	2,20	0,001	2,18	-0,01
1	5,71	0,01	1,74	0,002	1,71	-0,03
2	3,43	0,01	1,23	0,003	1,24	0,01
3	2,09	0,01	0,74	0,005	0,77	0,04
4	1,30	0,01	0,26	0,008	0,31	0,04
5	0,868	0,001	-0,14	0,001	-0,16	-0,02
6	0,546	0,001	-0,61	0,002	-0,63	-0,03



m	-0,469	2,18	b
σ_m	0,006	0,02	σ_b
r^2	0,9991	0,03	$\sigma_{\ln(V_i)_{aj}}$

Apenas observando o gráfico do ajuste, a reta obtida parece estar

de acordo com os dados experimentais. De facto, olhando para os resíduos, constatamos que a maior parte dos dados se encontra no intervalo de $[-\sigma, \sigma]$. Da equação teórica, podemos retirar que $m = \ln(T) - 2\alpha l \Leftrightarrow \alpha = \frac{-m + \ln(T)}{2l}$, em que l é o comprimento do cabo coaxial. Temos então

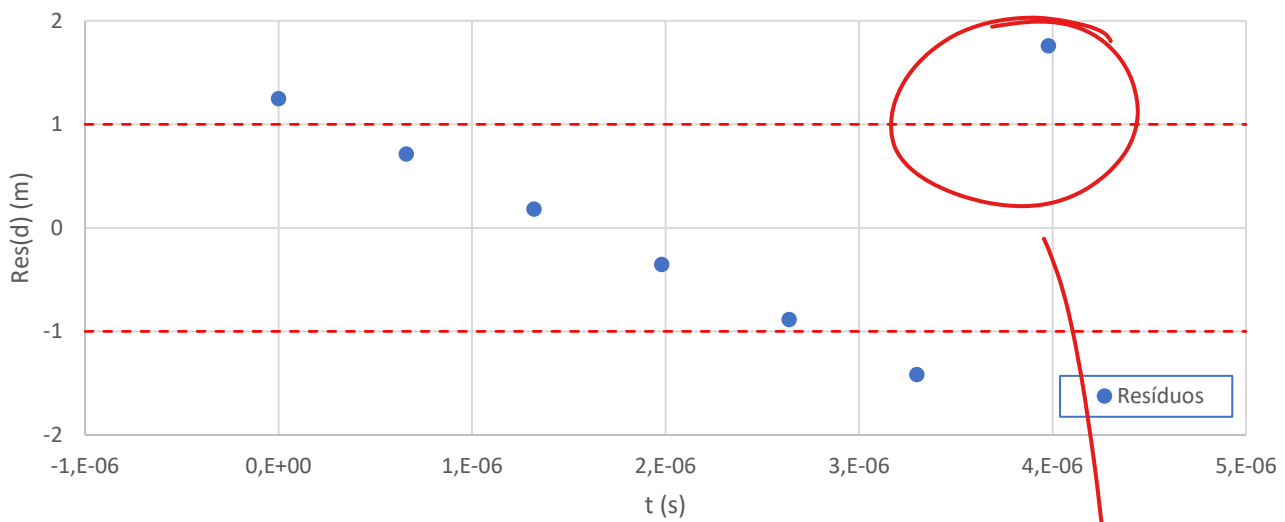
$$\alpha = 0,0022910$$

$$u(\alpha) = 0,00009 \rightarrow u_r(\alpha) = 4\%$$

$$\Rightarrow \alpha = (2,29 \pm 0,09) \times 10^{-3}$$

pelo que se comprova que $\alpha < 0,02$, como previsto. Comparando este valor com o obtido ~~pelo~~ em 2019 pelo grupo 7 da PLS, $\alpha_{ref} = (2,61^{+0,03}_{-0,03}) \times 10^{-3}$, o valor que obtemos ~~para~~ apresenta um erro percentual de 12%.

Foram também registados os dados referentes à distância percorrida por cada reflexão fíque é dado por $d_n = 2 \times n$ e o instante em que cada reflexão era registada pelo osciloscópio, tendo como ~~o~~ instante inicial, $t=0$, o instante em que o ~~impulso~~ sinal incidente era lido pelo osciloscópio. Isto foi feito colocando o cursor 1 sobre o pico incidente e o cursor 2 sobre o sinal refletido a medir.



já que se trata de um gráfico de $d(t)$ a velocidade será dada pelo declive, $v_{\text{fase}} = m$

$$v_{\text{fase}} = (1,86 \pm 0,01) \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$u_n(v_{\text{fase}}) = 0,5\%$$

Comparando este valor com o obtido pelo grupo 4, da PL6, de 2023, $v_{\text{ref}} = (2,0 \pm 0,2) \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, o valor obtido apresenta um erro percentual de 10%.

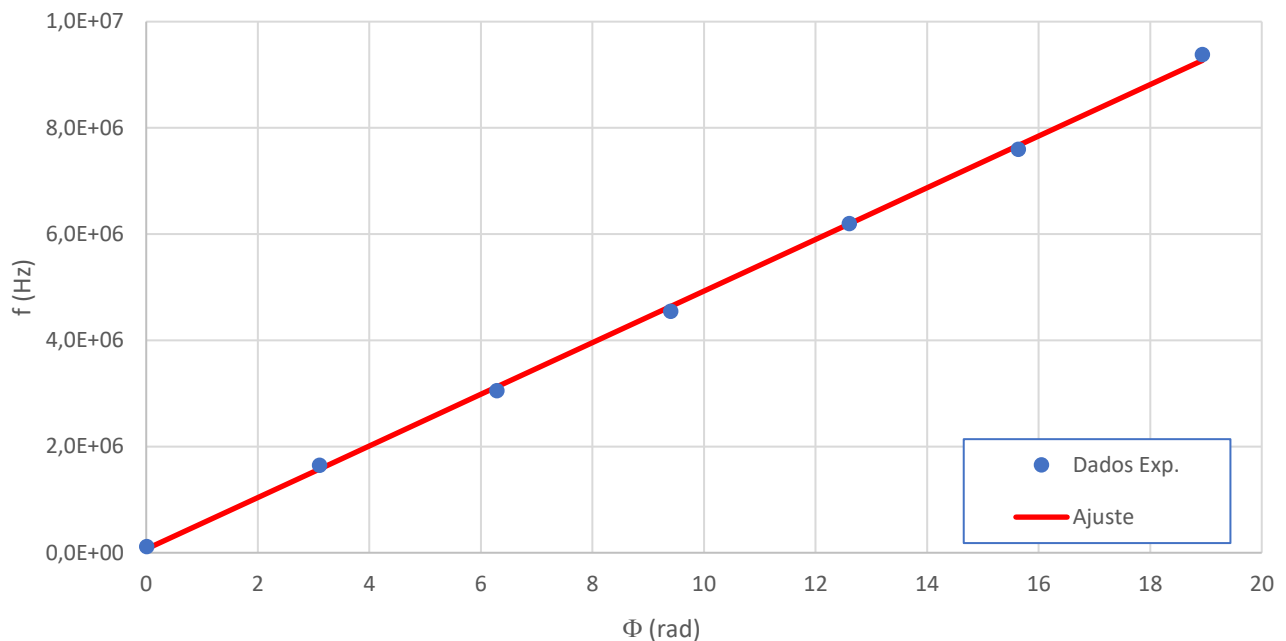
③ Determinação de v_{sin}

Inicialmente, escolheu-se a frequência mais alta permitida pelo gerador. No osciloscópio, observaram-se dois sinais - incidente e refletido. Posteriormente, variou-se a frequência de modo a que ambos estivessem em fase. ~~Depois repetiu-se o mesmo e registou-se o valor.~~ Isto repetiu-se também para valores em que os sinais estavam em fases opostas. Parou-se quando se atingiu a ordem dos KHz.

Observou-se que ~~a partir~~ ^{obtidos} do último valor registrado os sinais estão sempre em fase.

→ Ajuste experimental:

f (Hz)	u(f) (Hz)	Φ_{ida} (graus)		Φ_{real} (graus)	Φ_{real} (rad)	f _{aj} (Hz)	Res(f) (Hz)
9,3800E+06	100	5,06	5,06	1085,06	18,93787	9,3E+06	-1E+05
7,6000E+06	100	176	176	896	15,63815	7,7E+06	7E+04
6,2000E+06	100	2,23	362,23	722,23	12,605291	6,2E+06	-6E+03
4,5500E+06	100	179	539	539	9,4073247	4,6E+06	9E+04
3,0500E+06	100	0,439	720,439	360,439	6,2908473	3,1E+06	8E+04
1,6500E+06	100	178	898	178	3,1066861	1,6E+06	-7E+04
1,200E+05	10	0,432	1080,432	0,432	0,0075398	7,3E+04	-5E+04



m	4,86E+05	7E+04	b
σ_m	5E+03	6E+04	σ_b
r^2	0,99942	9E+04	$\sigma_{f_{aj}}$

$u(f_{aj}) \text{ (Hz)} = 2E+05$

Pelo gráfico de ajuste, não aparenta nenhum valor que se desvie muito da tendência.

No gráfico de resíduos, vê-se um ponto fora do intervalo de desvio, mas foi considerado por estar praticamente dentro dele.

tema-se a seguinte expressão:

O cálculo para a velocidade obtém-se da seguinte forma:

para uma onda sinusoidal

$$y = \sin(\omega t - \phi) \Rightarrow \phi = kx$$

$$y = \sin(\omega t - kx)$$

$$k = \text{vetor de onda} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \phi = kx \Rightarrow \Delta\phi = \Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

$$\Leftrightarrow \Delta x = \frac{\Phi \lambda}{2\pi}, \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

$$\Rightarrow \Delta x = \frac{v}{2\pi f} \Phi$$

$$\Leftrightarrow f = \frac{v}{2\pi \Delta x} \Phi$$

No nosso caso, a distância percorrida é o comprimento do cabo, pelo que,

$$f = \frac{v}{2\pi l} \Phi$$

$$\Rightarrow m = \frac{v}{2\pi l} \quad \Leftrightarrow v = m 2\pi l$$

$$v_{\text{med}} = 1,8780 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$\mu(v_{\text{med}}) = 0,04 \times 10^8 \rightarrow \mu_{\text{rel}}(v_{\text{med}}) = 2\%$$

$$\Rightarrow v_{\text{med}} = (1,87 \pm 0,04) \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Este valor apresenta um erro experimental de 37% relativamente ao valor ~~obtido pelo grupo de P6, de 2023~~

$$v_{\text{ref}} = (2,14 \pm 0,02) \times 10^8 \text{ m s}^{-1} \quad v_{\text{ref}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} c \approx 3,999 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

→ Resultados finais

① $Z_c = 56 \pm 3 \Omega$, com um erro percentual de 0% relativamente a $Z_{exp} = 56 \Omega$ e de 12% relativamente a $Z_{ot} = 50 \Omega$.

② $\alpha = (2,29 \pm 0,09) \times 10^{-3}$, com um erro percentual de 12% relativamente a $\alpha_{ref} = (2,61 \pm 0,03) \times 10^{-3}$

$v_{fase} = (1,86 \pm 0,01) \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, com um erro percentual de 10% relativo ao valor

$$v_{ref} = (2,07 \pm 0,02) \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

③ $v_{sinal} = (1,87 \pm 0,04) \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, com um erro percentual de 12% relativamente ao valor

$$v_{ref} = (2,14 \pm 0,02) \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

→ Conclusão :

Na primeira parte do estudo, verificou-se o perfil de $V_r(Z_r)$ esperado. Obteve-se um valor de $Z_c = 56 \pm 3 \Omega$, que é bom, tendo em conta que o valor teórico é $Z_e = 50 \Omega$ (erro de 12%).

Na segunda parte, obteve-se um valor de $\alpha = (2,29 \pm 0,09) \times 10^{-3}$, o que está de acordo com o esperado e apresenta uma percentagem de erro de 12%. Já para v_{fase} , obteve-se $v_{fase} = (1,86 \pm 0,01) \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, com um bom erro de 10%.

Na parte final, obteve-se $v_{\text{med}} = (1,8710,04) \times 10^8 \text{ m/s}$,
o que representa um erro de 37% relativamente ao
valor obtido por ~~outro grupo~~ ~~uma semana atrás~~
~~este que é aceite~~ teórico $v_{\text{teórica}} = 2,999 \times 10^8 \text{ m/s}$!

Este erro elevado poderá ser resultado de defeitos no
cabo coaxial.

mas i