

# Actividade SA ) Transmissão por cabo coaxial

## PLI - Grupo 4

Bogas de Silva, Jocé Tavares, Mariana Teixeira,  
Miguel Vieira, Raquel Freixo

16.5

### Obras Executadas:

→ Parte 1: Estudo da amplitude do impulso reflectido, em função da impedância da carga ligada à linha coaxial,  $V_R (Z_L)$

- Determinar o valor da impedância da carga ligada à linha para a qual a amplitude é nula ( $V_R = 0$ )

- Mostrar que em linha aberta,  $\Gamma = 1$  ( $Z_L \rightarrow \infty$ )

- Verificar que em curto circuito,  $\Gamma_L = -1$  ( $Z_L = 0$ )

A curto circuito o sinal, mas a corrente não!)

→ Parte 2: Determinação da constante de attenuação  $\alpha$  e da velocidade de propagação de sinal na linha coaxial  $V$

- Determinar  $\alpha$  com base na medida das amplitudes  $V_R$  de uma sequência de  $n$  impulsos reflectidos e das respectivas distâncias percorridas pelo sinal, d

- Registar os constantes em para os quais se verificam as amplitudes  $V_R$

→ Parte 3: Determinação da velocidade de propagação do sinal numha linha coaxial, variando a frequência do sinal de ensaio

- Determinar  $V$  a partir do registo das frequências  $f \in [300 \text{ a } 1000 \text{ MHz}]$

- Determinar  $V$  registando a diferença de fase do sinal no sinal de ensaio e o sinal reflectido na linha

### Parte 1

$$\Gamma = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} = \frac{V_R}{V_i} = \text{Coeficiente de reflexão}$$

$Z_0 \equiv$  Impedância da carga ligada à linha coaxial

(R)

$V_R \equiv$  Amplitude do impulso reflectido

(v)

$V_i \equiv$  Amplitude do sinal ~~de reflexão~~<sup>inveterado</sup>

~~• Esquemas das mancações~~  $m(\frac{V_0}{V_1}) = \frac{c_0}{C_m} (\Gamma) - 2\alpha(\Gamma)$

### 2º Parce

$$\alpha = \frac{\partial m(\Gamma)}{\partial \ln f} - \frac{\partial m(V_0/V_1)}{\partial \ln f} \text{ maneira de achar}$$

(dB/m)

$V_m$  = Amplitude da  $V_m$  real como m complexos  
 $V_1$  = como 1 complexo

(V)  
(V)

$\Gamma$  = equivalente de reflexão  $\approx 0.896$

$\ell$  = Distância entre o osciloscópio e o gerador

(m)

$$V = \frac{d}{\epsilon} = \frac{2\pi f}{C_m} = \text{Velocidade de propagação}$$

(m s⁻¹)

$d$  = Distância percorrida pelo real

$C_m$  = Constante para os quais é verificada a equação

(s)

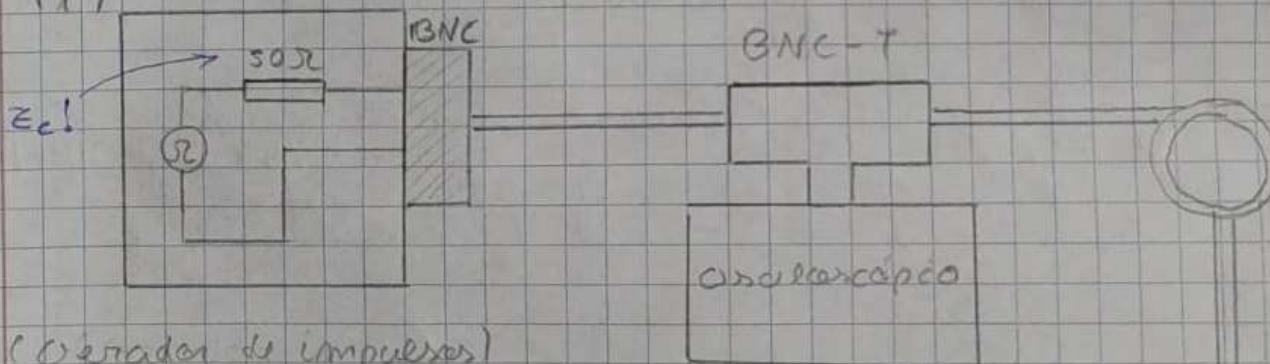
### 3º Parce

$$V = d \frac{1}{\epsilon} = \alpha \ell \frac{1}{\epsilon} \Rightarrow V = 2\pi \ell f$$

(m s⁻¹)

• Esquemas das mancações:

(1)



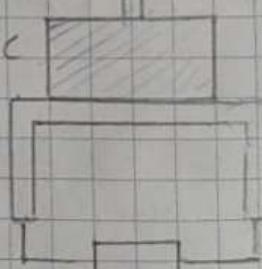
(Osciloscópio de impulsos)

$Z_c$  endereço - 50Ω ( $V_T = 0$  V)

Retornar a mesma densidade no paralelo  
canto à erg. como a única.

BNC

Adaptador  $\rightarrow$   
(terminal do topo)



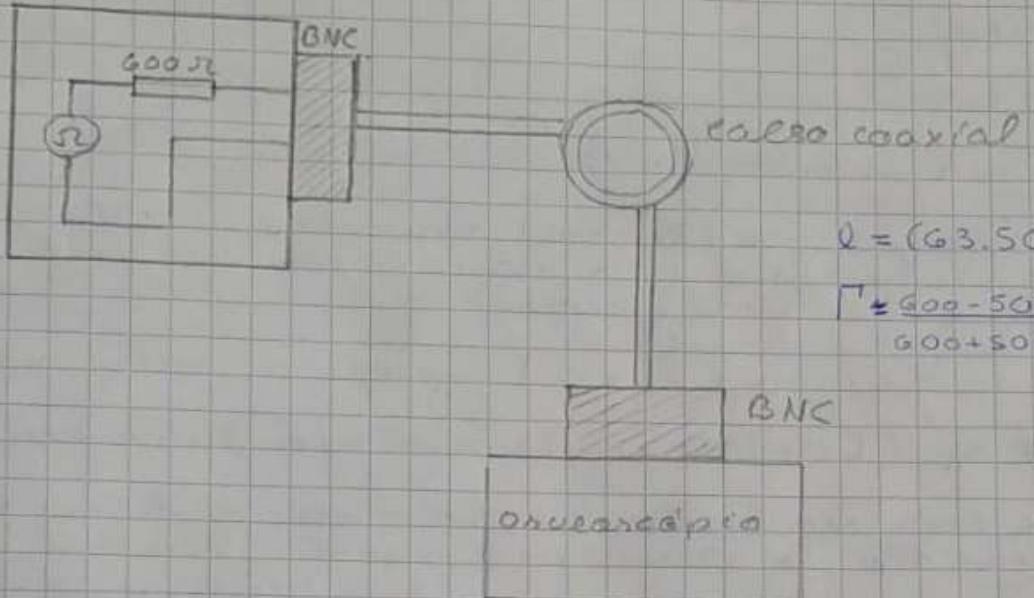
O osciloscópio está ligado  
ao gerador ~~—~~ e a um  
extremo do cabo coaxial

caixa de resistências

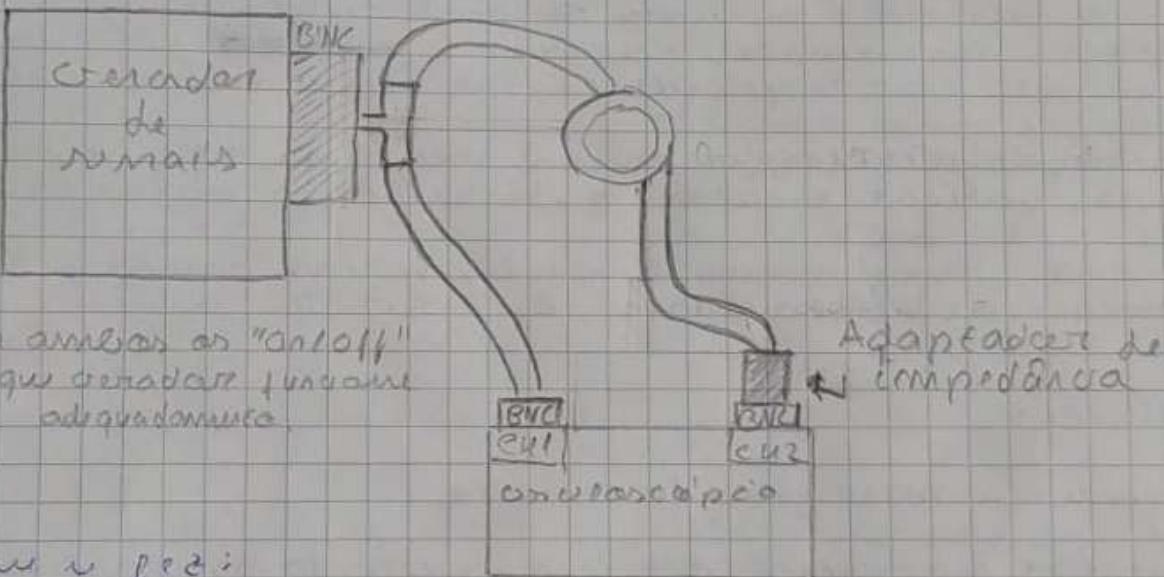
$Z_c$

Barra sumava o adaptador da  $N$  deve um  
circuito fechado ( $Z_c \rightarrow \infty$ )

(2)

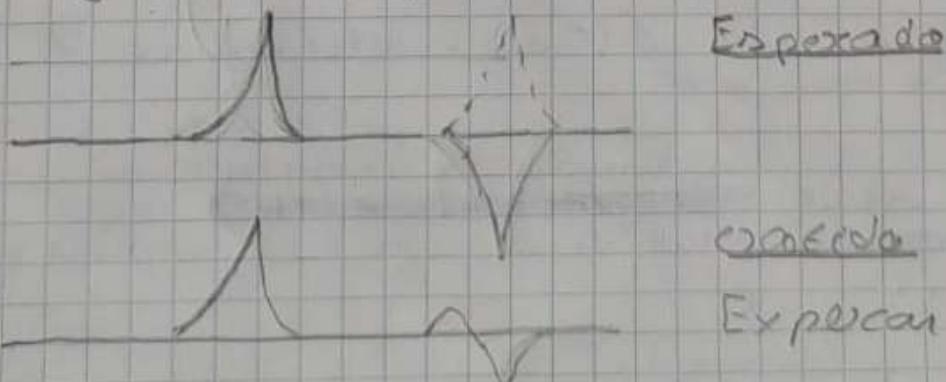


(3)



Tivemos que ligar os dois geradores "on/off" do gerador de sinal.

Sugestão da prof^a



Explique o porquê

• Procedimento

→ 1<sup>a</sup> Parte:

1) Proceder à montagem do circuito

2) Em circuito aberto ( $Z_L \rightarrow \infty$ ) observar o registrador, a parte do osciloscópio, os amperímetros do nidal de saída e do nidal refletido

3) Em curto circuito ( $Z_L = 0$ ) repetir o passo anterior

4) ~~Variar~~  $Z_L$  ( $[0, 100] \Omega$ ), repetir o procedimento

5) Para as três variações, traçar o gráfico de  $V_R(Z_L)$  e determinar  $\alpha$  (a alínea para a qual,  $V_R = 0$ !)   
 ~~observar~~ verificando a diferença

•  $V_R$  deverá ser obtida como  $V_R = V_{máx} - V_{mín}$  onde a amplitude máxima e mínima do nidal refletido (utilizar, por exemplo, o cursor 1 ~~10 micros~~, o cursor 2 na escala correspondente ao máximo no nidal)

Observação! O trigger deverá estar na origem (eclaro, utilizar escalas de visualização adequadas)

• Registre, para a mesma densidade, vários pares à esquerda e à direita para  $Z_L = 50 \Omega$ ,

→ 2<sup>a</sup> Parte:

1) Proceder à montagem do circuito

2) Registrar, através das curvaturas do osciloscópio, os valores do pico de amplitude, bem como os respectivos instantes de tempo. Podemos determinar

3) Proceder ao tratamento dos dados e determinar  $\alpha$

4) Para cada impulso, registre o seu tempo e as respectivas instâncias de tempo!

5) Repetir graficamente o ( $t_m$ ), determinar  $V$    
observação

• O trigger deverá estar ~~entre~~  $t_m - 100 \mu s$  e  $t_m + 100 \mu s$  na escala correspondente a  $Z_L = 50 \Omega$  (1º impulso)

→ 3<sup>a</sup> Parte:

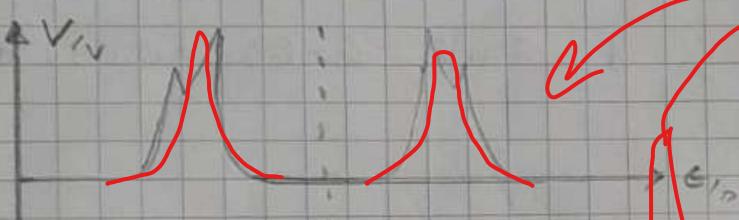
- 1) Proceder à respetiva montagem experimental
- 2) A partir do osciloscópio, à medida que se varia a frequência da sinal de gerada ( $1\text{KHz}, 10\text{MHz}$ ), registre a diferença de fase entre os sinais.
- 3) Repreender graficamente  $f(\phi)$  e determinar  $V$  (comparar com o valor de referência).

• Algumas considerações prévias? sim

O que será esperado observar no osciloscópio?

1<sup>a</sup> Parte

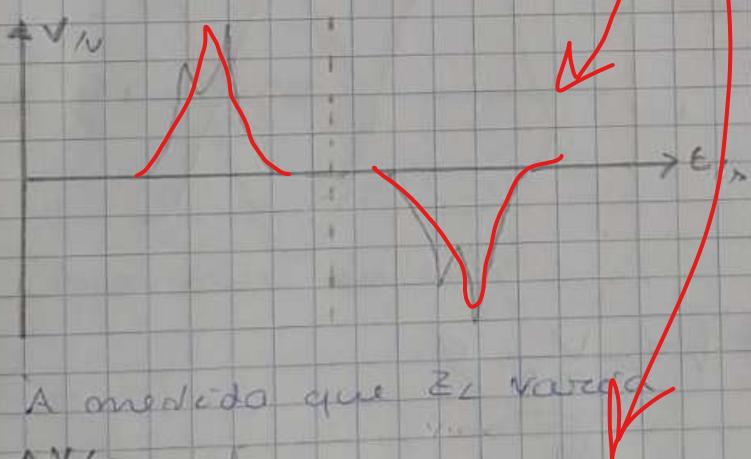
Em circuito aberto ( $Z_L \rightarrow \infty$ )



O sinal deverá sofrer uma reflexão  
o esperado é:

$$\frac{V_D}{V_i} = -1$$

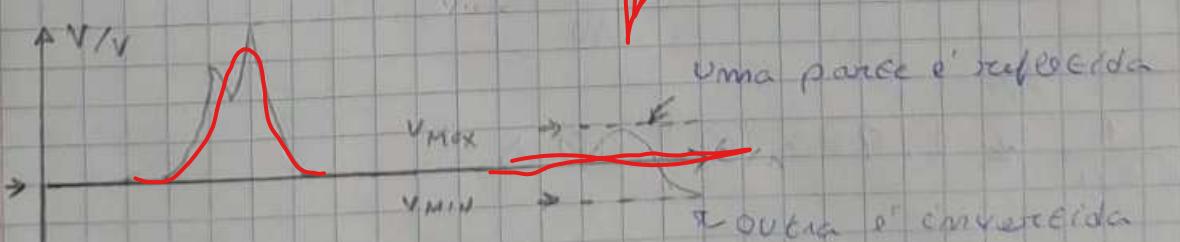
Em circuito fechado ( $Z_L = 0$ )



O sinal deverá ser localmente invertido

$$\frac{V_D}{V_i} = -1$$

A medida que  $Z_L$  varia



uma parte é refletida

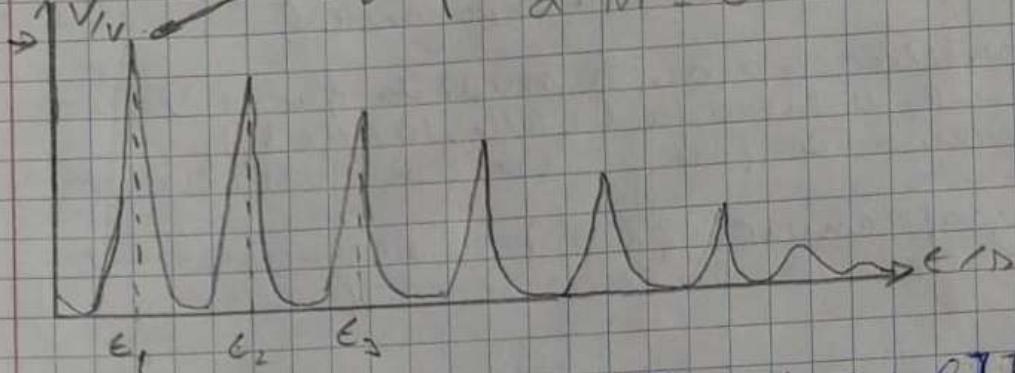
a outra é invertida

Função quadrática

Polinomial

AQUI → qual o critério de escolha da gama para ajuste

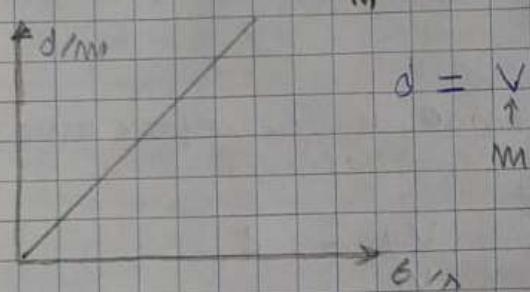
2º Parte  $V_{12} \rightarrow (0 \text{ m}^{\circ} \text{ de impulsos corresponden})$



$$\ln\left(\frac{V_m}{V_i}\right)$$

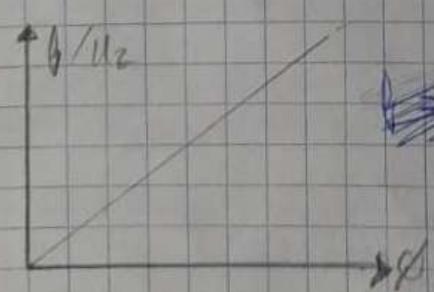
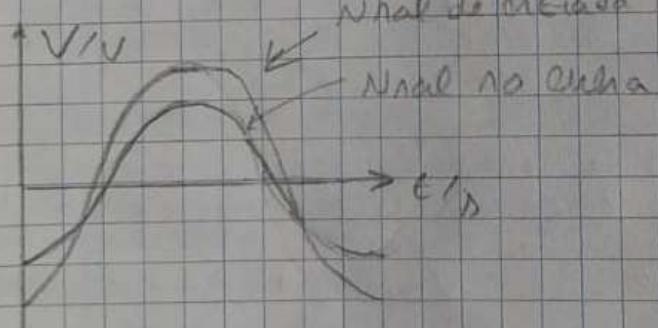
$$\ln\left(\frac{V_m}{V_i}\right) = \frac{[\ln(m) - 2\alpha l] \times M}{m}$$

$$S = M \pi r^2 l$$



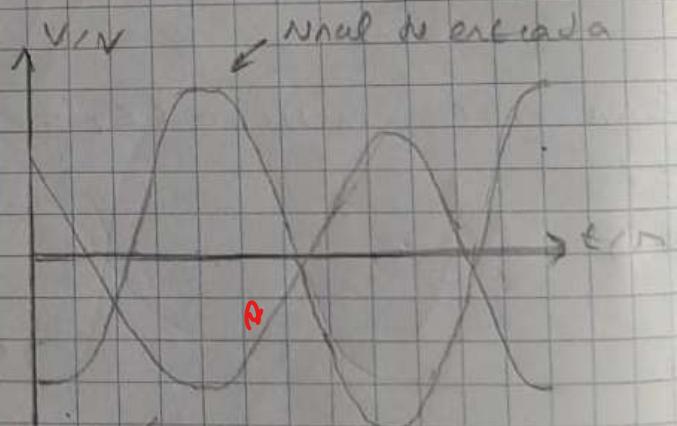
$$d = V \cdot \frac{l}{M}, \quad d = 2\pi r l, \quad l = (65.5 \pm 0.05) \text{ m}$$

3º Parte



~~$$\frac{V}{2\pi l}$$~~

$$d = \frac{V}{2\pi l} \phi$$



Sinal na outra curva

$$V_{ref} = \frac{1}{\sqrt{E_M}} \approx 1.98 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Dadas condições

IB de curva

NOTAS AULA  
parte:  
→ fio fino media 10

parte de tensão 12V

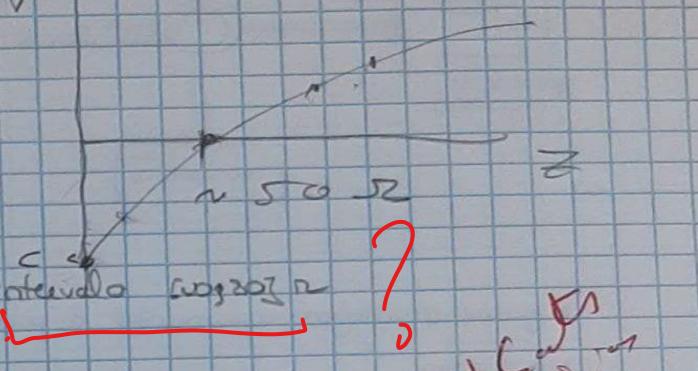
→ 1º registro foto  $Z_L = R = 50\Omega$

→ resistência  $Z_L = 0\Omega$

3º resultado  $Z_L = \infty\Omega$

após resultado  $Z_L = 60\Omega$  mudou-se escala

colheu-se registro com detalhe no intervalo  $[0,20] \Omega$



parte:  
uso de botão (transistor) e depois aumentar

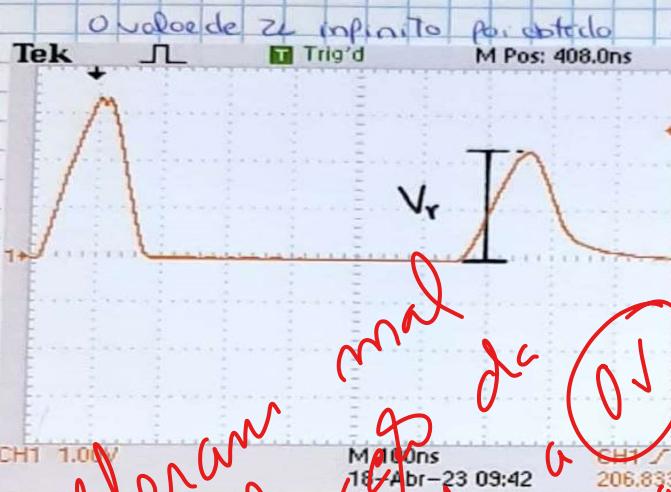
→ é uma opção / mas cuidado com /  
a linha de zero!

Inicialmente, foi montado o circuito da figura 1

Para que não haja reflexos de impulsos à entrada da linha coaxial, o valor da resistência interna do gerador deve ser igual à impedância da linha, ou seja, neste caso, 50Ω.

Para qualquer visualização feita no osciloscópio, foi feita uma medida de 10 na própria aparelho

circuito aberto ( $Z_L = \infty$ ):



desconectando a caixa de resistências do circuito

com transistor, o sinal foi refletido com amplitude de positiva

$$T_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}; \text{ com } Z_L = \infty \rightarrow T_L = 1$$

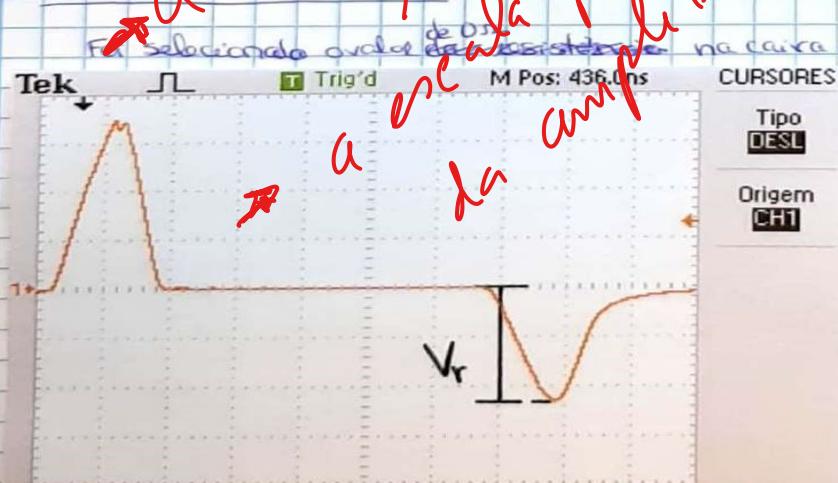
No entanto, é visível que o sinal refletido tem amplitude menor que o inicial dado que já percorreu uma distância e sofreu atenuação.

Idealemente, as amplitudes dos sinais seriam iguais

$$V_{r\text{experimental}} = (0.32 \pm 0.01)V$$

*E poderiam mal dar a 0.1*  
Figura 3: Visualização do sinal em circuito aberto

circuito aberto ( $Z_L = \infty$ ):



CURSORES

Tipo DESL

Origem CH1

Como previsto, o sinal foi refletido mas com amplitude de valor ~~negativo~~ negativo

$$T_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}; \text{ com } Z_L = 0 \rightarrow T_L = -1$$

No entanto, tal como no caso anterior, é visível a atenuação do sinal refletido pois a amplitude deste é menor que a do inicial (em módulo).

Idealemente, as amplitudes dos sinais seriam simétricas

$$V_{r\text{experimental}} = (-0.32 \pm 0.01)V$$

Figura 4: Visualização do sinal em auto circuito

Da seguirá, variando o valor de  $Z_L$ , foram registrados os valores de  $V_r$  correspondentes e fez-se o gráfico de  $V_r$  ( $Z_L$ ).

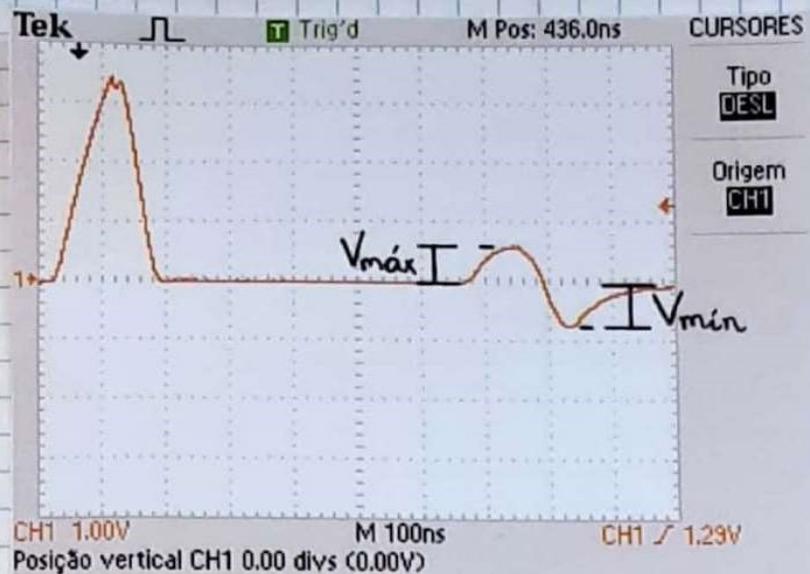


Figura 5: Visualização do sinal quando  $Z_L = 50\Omega$

Os valores de  $V_R$  foram calculados com base no deslocamento da curva. O resultado do primeiro cálculo foi colocado no zero do sinal inicial enquanto o resultado do segundo foi utilizado para medir o valor de  $V_{máx}$  e  $V_{mín}$  individualmente.

$$V_R = V_{máx} + V_{mín}$$

Não concorda com o ajuste

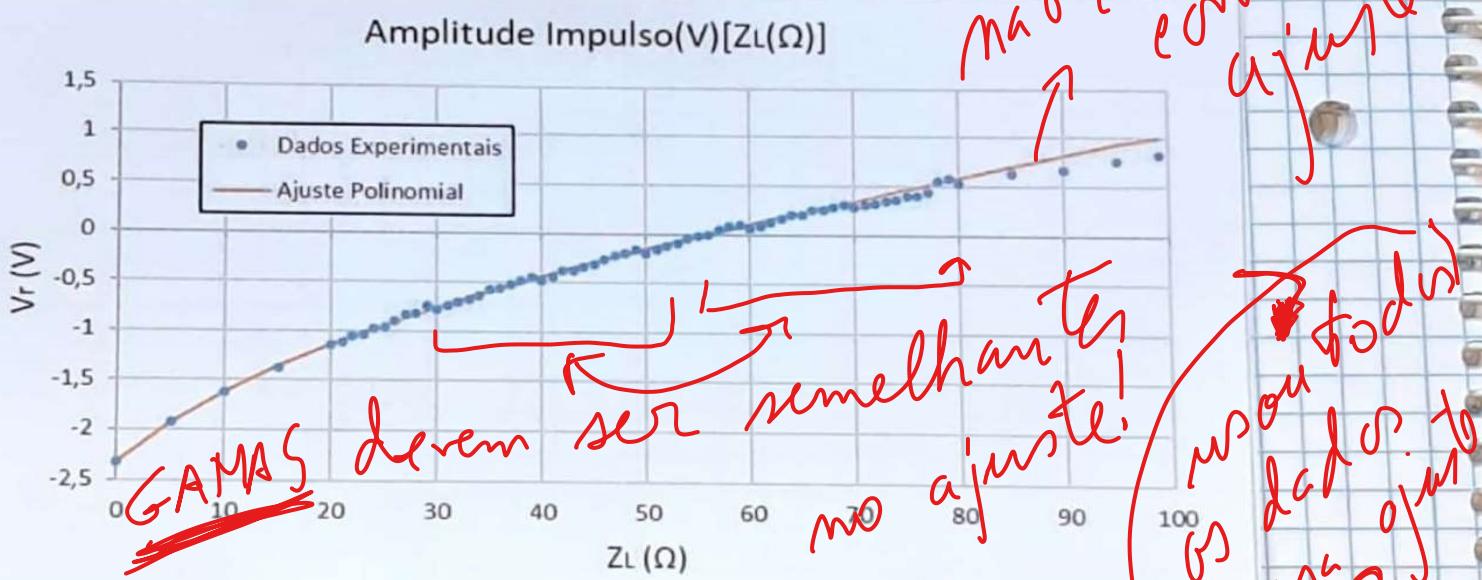


Figura 6: Gráfico de  $V_R(Z_L)$  experimental e respetivo ajuste polinomial

Devido à falta de tempo para realizar a experiência, foi escolhida para análise mais potencializada a gama  $[20; 80\Omega]$  e para  $Z_L$ . Para obter uma análise balanceada, escolheu-se o mesmo número de dados antes e depois de  $Z_L = 50\Omega$ . Pela mesma razão, na gama  $[0; 10\Omega] \times [80; 100\Omega]$  apenas foram retirados valores com intervalos de  $5\Omega$ .

expressão do ajuste polinomial (valores retirados da função PROSLIN do Excel):

$$V_R = (-2 \pm 1) \times 10^0 Z_L^6 + (5 \pm 4) \times 10^{-9} Z_L^5 + (-7 \pm 4) \times 10^{-9} Z_L^4 + (5 \pm 2) \times 10^{-5} Z_L^3 + (-2 \pm 0,6) \times 10^{-2} Z_L^2 + (9 \pm 0,7) \times 10^{-2} Z_L + (-2 \pm 1)$$

$$R^2 = 0,998$$

$$S_{y\bar{x}} = 0,03$$

O comportamento do gráfico na figura 6 está de acordo com o previsto no esquema na seção "notas da aula".

No entanto, é visível uma quebra a cada mudança do deslocamento das decadas em  $Z_L$ . Isto pode ser explicado por um erro na caixa de resistências utilizada.

É também visível na gama  $[20; 100\Omega]$ , um afastamento dos dados experimentais do ajuste efectuado, que se pode justificar pela baixa densidade de dados retirados.

Foram também registrados alguns valores de maiores ordens de grandeza com o objetivo de verificar que para  $Z_1 = v_0$ ,  $V_1$  tende para o valor medido em circuito aberto.

ZL (Ω)	Vmax (V)	Vmin (V)	Vz (V)
1000	2,10	0,00	2,10
10000	2,28	0,00	2,28
100000	2,32	0,00	2,32

Tabela 1

Estes valores não estão representados no gráfico  $V(z)$  porque a diferença de escala é muito elevada para serem visualizados o custo do dados

determinară experiența de zc:

igualando a expressão do aguado a zero ( $V_2=0$ ) obtemos:  $Z_{exp} = 55,4\Omega$

nos dados através experimentalmente,  $Z_c \approx 56.8$

assim, considerando a incerteza:  $v(z) = \sqrt{156 - 55,74} = 0,262$

postans: Zc experimental = (55, ± 0,3) %

o erro relativo ao valor teórico é:  $E\epsilon(\%) = \frac{155,7 - 50}{50} \times 100 = 11,5\%$

O valor de  $z_c$  obtido deve ser usado como valor de referência para o cálculo da resistência dos mesmos materiais, na seção seguinte.

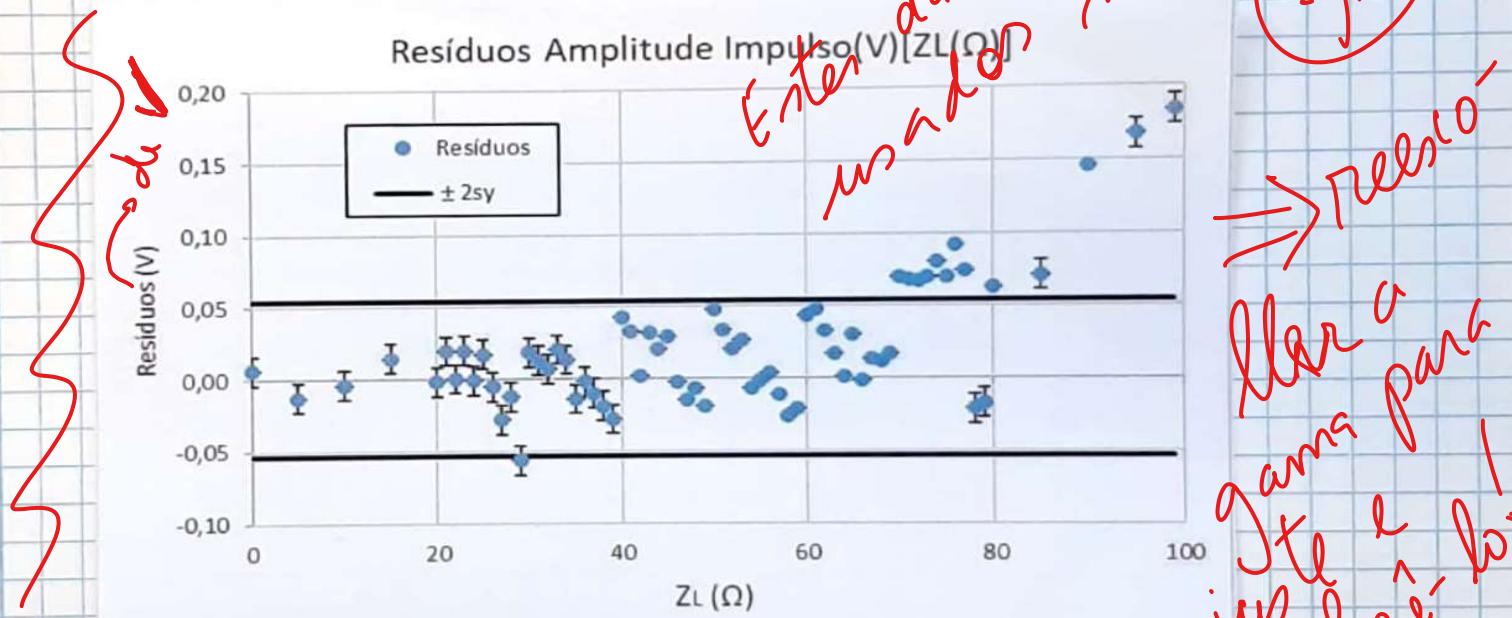


Figura 2: Gráfico dos resíduos relativo aos dados da figura 1

A incógnita associada aos valores de  $V_{\text{M}}$  foi calculada a partir da seguinte expressão:

$U(V_A) = \sqrt{(U_{Vmax})^2 + (U_{Vmin})^2}$ , o que justifica que algumas bairros te incentive no segum visores no específico.

É visível a tendência dos resíduos para diminuirem nos intervalos da dezenas de 2, ocorrendo um "salto" na transição entre estes intervalos. Isto explique-se pelas quebras fundamentadas na visão no gráfico da Figura 6.

Na gama dos [20;100]%, o elevado valor dos resíduos já era esperado devido ao desvio entre os dados e o ajuste comentado anteriormente

## Analise e registo de dados

b) Constante de atenuação,  $\alpha$ , e velocidade de propagação,  $v$ .  
 Montado o circuito designado, registaram-se os valores de  $V_n$ , em V, para cada  $n$ . Traçou-se o gráfico de  $\ln(V_n)$  em função de  $n$  e obteve-se um ajuste linear, como vemos na imagem que se segue. As tabelas dão respeito à matriz de ajuste e aos dados obtidos.

n	V <sub>n</sub> (V)	$\Delta V_n$ (V)	ln(V <sub>n</sub> )	$\Delta \ln(V_n)$	Aj ln(V <sub>n</sub> )	Resíduos ln(V <sub>n</sub> )
0	9,48	0,01	2,249	0,001	2,24395726	-0,005227053
1	5,76	0,01	1,751	0,002	1,75822744	0,007289966
2	3,54	0,01	1,264	0,003	1,27249762	0,008370892
3	2,18	0,01	0,779	0,005	0,7867678	0,00744292
4	1,39	0,01	0,329	0,007	0,30103797	-0,028265773
5	0,835	0,001	-0,180	0,001	-0,1846918	-0,004368293
6	0,504	0,001	-0,685	0,002	-0,6704217	0,014757341

Tabela 2

Dados obtidos experimental / com ajuste e resultados.

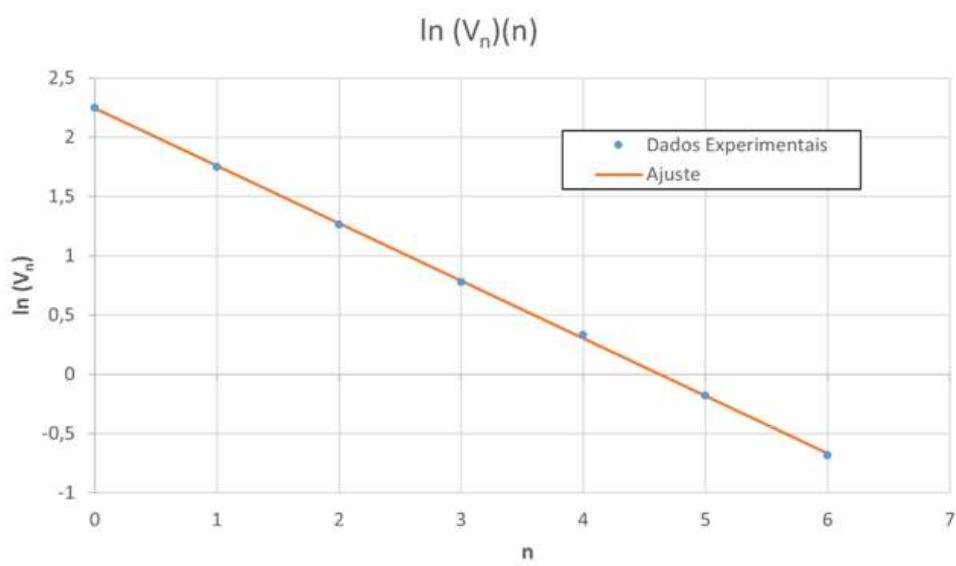


Tabela 3

Matriz de ajuste $\ln(V_n)$			
m	-0,486	2,24	b
$\sigma_m$	0,003	0,01	$\sigma_b$
$r^2$	0,9998	0,02	$\sigma_v$

Não estão representadas  
láscaras de coro, já que  
estas são duma gama  
tão pequena que não  
sejam visíveis.

Figura 8: Representação de  $\ln(V_n)$  obtido experimentalmente em função de  $n$

O ajuste efetuado aparenta ser adequado como confirmamos pelos baixos valores de incerteza e por  $\hat{e}^2 \sim 1$ . Segue-se o gráfico de resíduos associado ao ajuste de  $\ln(Y_n)(n)$ .

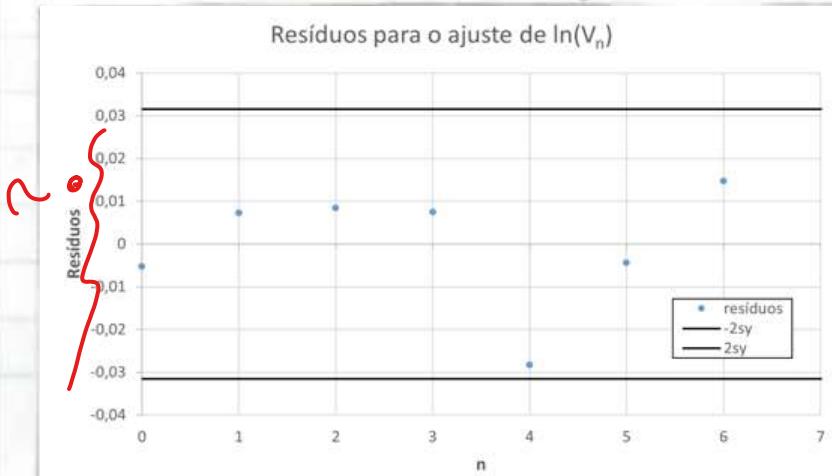


Figura 9: Gráfico de resíduos (associado à Figura 8)

Mas aqui não pá!  
Onde estou?

não concordo

São notáveis duas tendências: uma parabólica e uma linear. Tais são, no entanto, falsas e fato das aproximações efetuadas no ajuste. Elas não são boas em conta, visto que reduzem bastante a gama de análise. Tendo a dorente recomendado a ignorar estas tendências. Os resíduos estão distribuídos com他是 de zero por valores muito pequenos, com exceção de um ponto. No entanto, realizou-se um novo ajuste sem este ponto e os resultados obtidos foram os mesmos, pelo que se decidiu manter-las, já porque se encontravam dentro dos limites das barbas de incerteza dadas por  $\pm 2\sigma$ . O gráfico de resíduos confirma, entretanto, a validade do ajuste.

Paramos ao cálculo de  $\alpha$ . Da expressão  $\ln(t_n) = (\ln T - 2\alpha l)n$ , obtemos que  $m = \ln T - 2\alpha l$

$$\Leftrightarrow \alpha = \frac{\ln T - m}{2l}, \text{ onde } m \text{ é o declive obtido a partir do ajuste linear.}$$

que valor de  $\chi^2_c$

$$u(\alpha) = \sqrt{\left(\frac{1}{2l}\right)^2 u^2(m) + \left(\frac{\ln T - m}{-2l^2}\right)^2 u^2(l)}$$

Pelo que obtemos  $\alpha = (0,00251 \pm 0,00002) \text{ dB/m}$   
 $= (2,51 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ dB/m}$

verifica

No protocolo, estava especificado  $\alpha < 0,02 \text{ dB/m}$ , o que se verifica. No entanto, comparou-se, ainda, com o valor obtido por outro grupo,  $\alpha' = (0,00355 \pm 0,00008) \text{ dB/m}$

$$\epsilon_0 = \frac{|0,00251 - 0,00355|}{0,00355} = 100 \times 27\%$$

inc(1) = 0.8 %

Traça-se dum erro constante elevado, mal nada nos garante que  $\alpha'$  esteja próximo do valor real de  $\alpha$ . Note-se, porém, que ambos apresentam 3 algarismos significativos e 5 casas decimais, concordando 4C na mesma ordem de grandeza, o que é um bom indicio.

De seguida, com o tempo registado em ns, como apresentado na tabela que se segue, representou-se graficamente  $d(t_n)$ , onde  $d=2nl$ .

n	d (m)	$t_n$ (ns)	ajuste	resíduos
0	0	0	5,33861	5,33861
1	127	600	122,644	-4,35648
2	254	1230	245,814	-8,18633
3	381	1950	386,58	5,57956
4	508	2600	513,66	5,65987
5	635	3200	630,965	-4,03522
6	762	3600	709,168	-52,832

Tabela 4

Dados obtidos experimentalmente para  $d$  e  $t_n$ , com ajuste e resíduos.

Junção de bocas de serra pelo mesmo motivo de anteriormente.

Matriz de ajuste d(t <sub>n</sub> )			
m	0,196	5	b
a <sub>n</sub>	0,003	5	a <sub>b</sub>
r <sup>2</sup>	0,99993	7	a <sub>r</sub>

Tabela 5

O ponto duvidoso não foi considerado no ajuste porque claramente não da tendência linear.

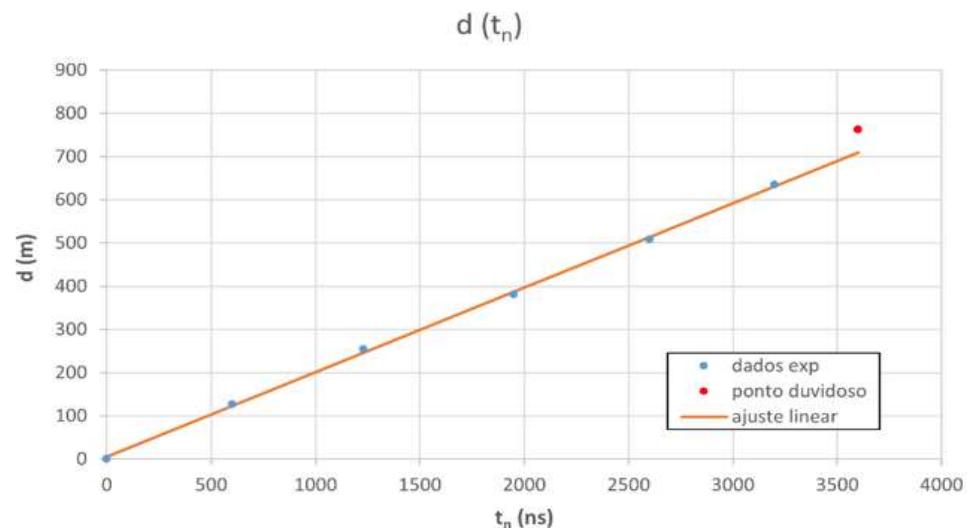


Figura 10: Representação da distância percorrida em função do tempo

Bom, verificamos pela matriz de ajuste, o declive apresenta uma incerteza baixa e o  $a^2$  está muito próximo de 1, já a ordenada na origem apresenta uma incerteza bastante alta, o seu valor, o que indica a falta de validade neste valor (o que nos permite desprezá-lo, em concordância com a equação que descreve o gráfico). Também o  $b$  apresenta um valor mais elevado do que o ideal, o que pode ser uma consequência das tendências do gráfico de resíduos anteriores. Verificemos, agora, o gráfico de resíduos para o ajuste de  $d(t_n)$ .

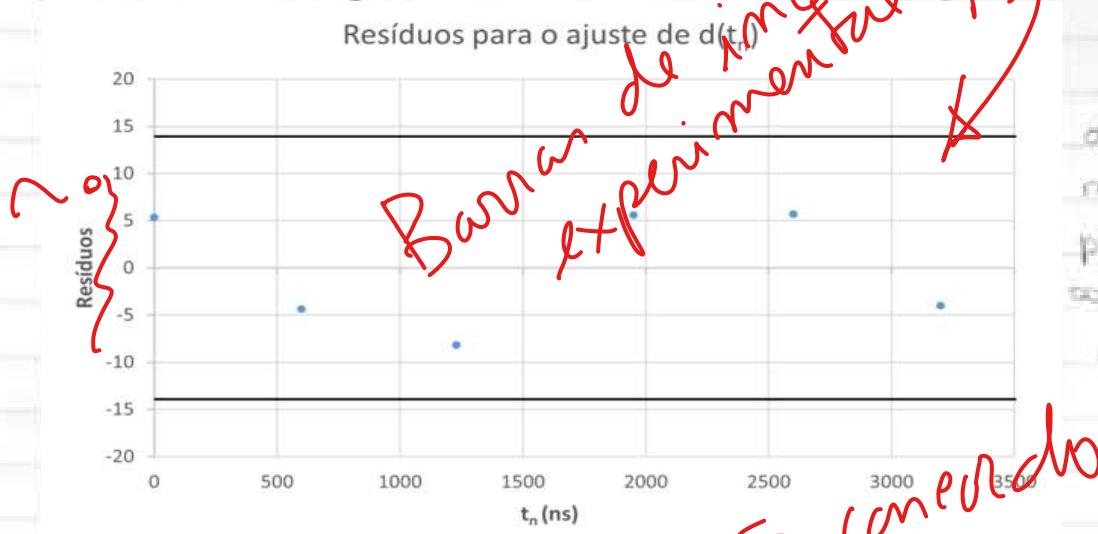


Figura 11: Gráfico de resíduos (associado à Figura 10)

O ponto duvidoso não entrou nestes resíduos, porque não foi considerado no ajuste.

Mais uma vez, vemos duas tendências. Os resíduos acunham-se em torno de zero, certa vez, por valores maiores, mas, quando assim, dentro do intervalo de confiança de 95% de  $-2\sigma$  a  $2\sigma$ .

Confirmando a validade do ajuste, calculemos  $v$  a partir da expressão  $d = vt_n$  →  $v = (0,196 \pm 0,003) \text{ m/ns}$

Usando como  $\tau_{exp} = 1/\sqrt{f} \approx 1,976 \times 10^3 \text{ m/s} = 0,1976 \text{ m/ns}$

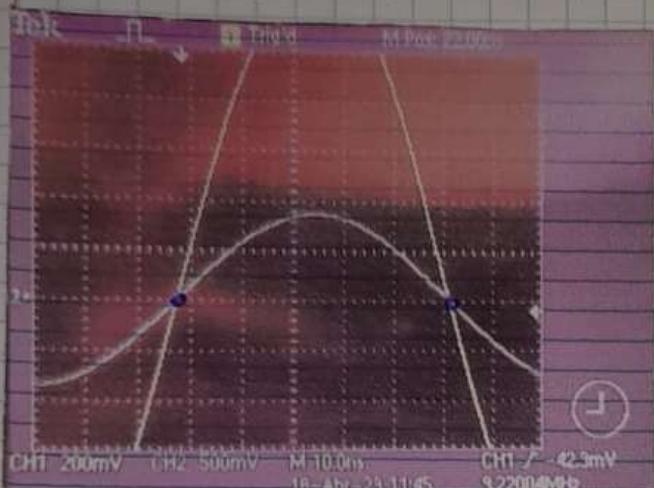
$$\frac{v}{\tau_{exp}} = \frac{0,196 - 0,196}{1,976 \times 10^3} = 0,9\% \approx 1\%$$

0,1976

# Análise e registo dos dados

## Parece

Comecámos por determinar a maior frequência ( $f \in [1\text{Hz}, 10\text{MHz}]$ ) para a qual se verificava uma diferença de fase de  $\phi = 0$ .



Ajusseamo a frequência no gerador até que os períodos considerados se correspondam (quando isso se verificar, concluimos que está em fase ou antifase!)

E precisamente no gerador que registramos a incerteza da frequência, mede-se a ajusse que faz preciso alcançar.

Figura 12: Visualização das maiores diferenças de fase

Observação: Também podemos registar a diferença de fase → para o cálculo a parte do osciloscópio (embora esse método seja mais demorado)

A parte do método utilizado conseguimos obter os dados apresentados na Tabela 6,

$f$ (MHz)	$u(f)$ (MHz)	$\phi$ (°)	$\phi$ (rad)
9.220	1.00E-03	0	0
7.700	1.00E-02	180	3.14
6.118	1.00E-03	360	6.28
4.568	1.00E-03	540	9.42
3.048	1.00E-03	720	12.57
1.505	1.00E-03	900	15.71

Tabela 6: Dados obtidos experimentalmente para a frequência e a diferença de fase

Podemos representar graficamente a frequência  $f$  em função da diferença de fase (Figura 13):

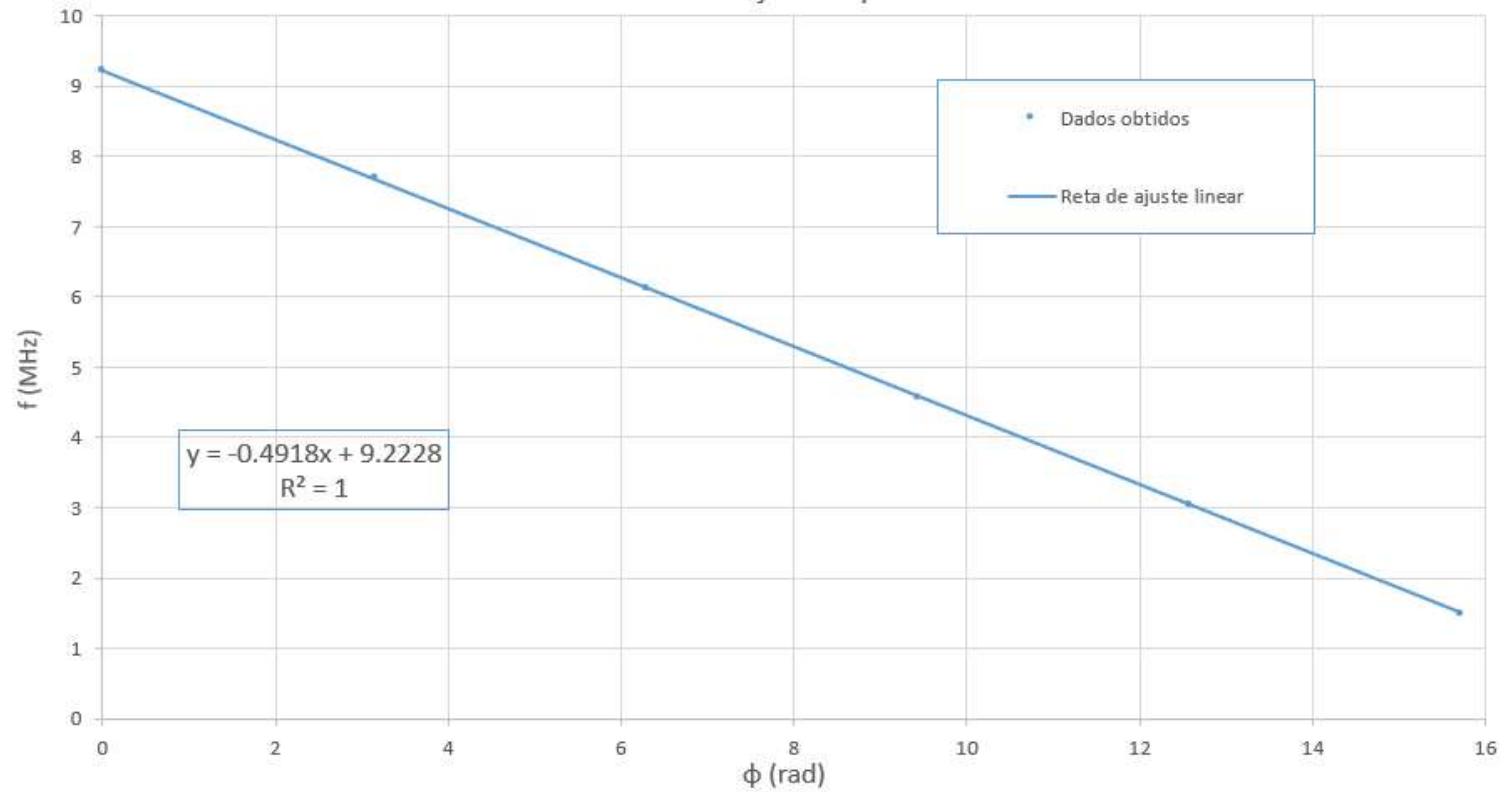
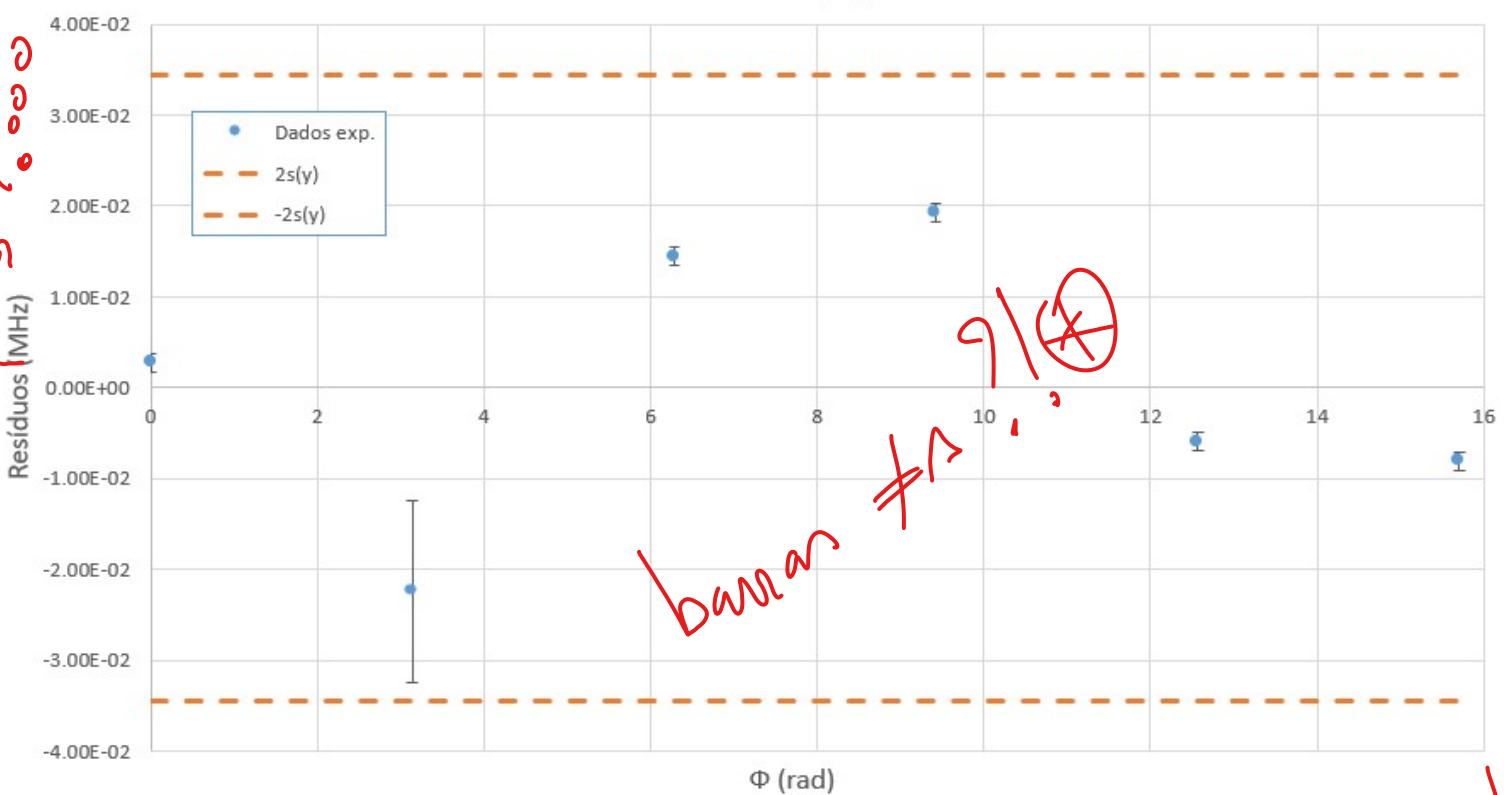
f em função de  $\phi$ Figura 13 : Enquadrada f em função da diferença de fase  $\phi$ Resíduos de  $f(\phi)$ 

Figura 15: Gráfico de resíduos (anexoado à Figura 13)

Parâmetros da reta de ajuste $f(\phi)$			
$m$ (MHz)	-4.92E-01	9.22	$b$ (MHz)
$s(m)$ (MHz)	1.31E-03	1.25E-02	$s(b)$
$r^2$	0.99997	1.72E-02	$s(y)$

Tabela 7

{alg. significados}

com o que no gráfico de resíduos (Figura 15), verificamos que estes encontram-se distribuídos aleatoriamente e ~~apresentam~~ apresentam valores relativamente baixos, visto que se encontram enquadrados no intervalo de confiança [-25, 25].

Em ambos os gráficos foram aplicadas barras de erro correspondentes à incerteza da f. (Mostrada na Figura 13 mas não visível).

e.a.

$$u^2(V) = \left(\frac{\partial V}{\partial m}\right)^2 u^2(m), \quad m = \frac{V}{270} \Rightarrow V = 270|m|$$

Admitindo que é uma constante disponibilizada na fórmula de procedimento,

$$u(V) = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial m}\right)^2 u^2(m)} = \sqrt{(270)^2 u^2(m)} \approx \cancel{270} \cdot 5.23 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$$

$$V = 270|m| \approx 1.963 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$V = (1.963 \pm 0.005) \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Inc}(\%) \approx 0.25 \%$$

~~$$\text{esperado} = 1.976 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$~~

$$\text{erro}(\%) \approx 0.66 \%$$

#### • Resultados finais

##### Parte 1

$$Z_c = (55.7 \pm 0.3) \Omega$$

$$\text{Inc}(\%) = 0.5 \%$$

$$\text{Emo}(\%) = 18 \%$$

Confiança? Morador de  
referência? 0,00

##### Parte 2

$$\alpha = (2.51 \pm 0.02) \cdot (0^{-3} \text{ dB m}^{-1})$$

$$\text{Inc}(\%) = 0.8 \%$$

~~$$\text{Emo}(\%) = 29 \%$$~~

$$V = (1.46 \pm 0.03) \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

~~$$\text{Inc}(\%) = 1.5 \%$$~~

$$\text{Emo}(\%) = 1 \%$$

X

(\*)

### Parte 3

$$V = (1.963 \pm 0.005) \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Inc}(\%) = 0.3\%$$

$$\text{Err}(\%) = 0.7\%$$

→ comparar  
com (\*\*)

### • Conclusões

→ Na 1ª Parte da actividade, varia-se o valor da impedância da carga  $Z_L$  e regista-se o valor  $V_R$  correspondente

→ Representou-se graficamente a dependência entre  $V_R$  e  $Z_L$ :  
o grau do ajuste polynomial de grau 6 determinou-se  
o valor de  $Z_L$  experimental =  $(55.7 \pm 0.3) \Omega$   
associado a uma incerteza de  $0.5\%$  e a um erro de  
aproximadamente  $12\% \text{ quando comparado com o valor}$   
proposto no protocolo,  $Z_L = 50 \Omega$

→ Verificou-se a similitude entre os valores  $V_R$  em curto-  
circuitado e em circuito aberto:  ~~$V_R(Z_L=0) = V_R(Z_L \rightarrow \infty)$~~

→ Na 2ª Parte, foi mantida constante a constante de  
acumulação do cabo coaxial e a constante do efeito Lenz de  
 $B_1$  ( $\text{V/m}$ ) em função do ângulo de rotação, obtendo-se  
 $CX = (2.51 \pm 0.02) \cdot 10^{-3} \text{ J B/m}^2$  com uma incerteza (0%) de  $0.8\%$   
e um erro de  $2.7\%$  confirmando-se que é  $< 0$

→ Relacionando a distância com o campo foi possível obter a velocidade de propagação de onda,  $V = (1.96 \pm 0.03) \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$   
(incerteza de  $1.5\%$  e um erro de, aproximadamente,  $10\%$ )

→ Na 3ª Parte da actividade, geravam-se ondas de radiofrequência de níveis e registram-se aqueles para os quais as NMAs se encostavam em fase (não em antifase).

→ Nesse caso, representaram-se os resultados em função das diferentes fases e obteve-se a velocidade de propagação de onda de ajuste linear,  $V = (1.976 \pm 0.005 \cdot 10^8) \text{ m s}^{-1}$   
(associada a uma incerteza de  $0.3\%$  e a um erro de  $0.7\%$ )

FALTAM OS  
JUÍZOS DE VALOR

do final