

## Lab 016: Atividade 4A - Cabo coaxial - Preparação laboratorial

18

### Objetivos:

- Estuda a amplitude do impulso refletido em função da impedância de carga ligada à linha coaxial  $V_R(Z_L)$ :
  - $Z_L = Z_c$  para o qual a amplitude do impulso refletido  $V_R(Z_L) = 0$  ( $T_L = 0$ )
  - Notar que  ~~$Z_L = \infty$~~   $T_L = 1$  para  $Z_L \rightarrow \infty$
  - Notar que  $T_L = -1$  para  $Z_L = 0$  (tensão inverte o sinal, mas o sinal é igual)
- Nota:  $Z_L \rightarrow \infty$  em malha aberta,  $Z_L = 0$  em ~~circuito~~ curto-circuíto e  $Z_L = Z_c$  em circuito fechado
- Determinar a constante de alternância  $\alpha$  e  $n\tau$  (velocidade)
- $\alpha$  a partir da medição das amplitudes  $V_m$  de uma sequência de impulsos refletidos e correspondentes distâncias  $d$
- Calcular  $n\tau$  a partir de  $V_m(t)$  sendo  $t_m$  os instantes e  $V_m$  as amplitudes
- Determinar  $n\tau$  (velocidade) variando a frequência do sinal de entrada
- Registrar a frequência  $f$  do sinal de entrada e a diferença de fase  $\phi$  entre o sinal de entrada e o sinal refletido
- Nota: Variar  $f$  entre a gama de  $10\text{Hz}$  e  $10\text{MHz}$

### Procedimento experimental:

- 1 - Verificar se todo o material se encontra disponível

#### 1 - Estudo da amplitude em função da impedância

- ✓ - Realizar a montagem 1

- ✓ - Escolher uma resistência interna da gerador igual à impedância do cabo coaxial para não haver reflexão de impulsos ( $50\text{\Omega}$ )

- ✓ - Variar  $Z_L$  e a partir do gráfico  $V_R(Z_L)$ , calcular  $Z_c$  (ponto de intersecção da linha de ajuste com o eixo  $Z_L$ )

- ✓ - Registrar as observações no osciloscópio do impulso incidente na linha coaxial seguido do impulso refletido na carga  $Z_L$  para a malha aberta ( $Z_L = \infty$ ) e para o curto-circuíto ( $Z_L = 0$ )

#### 2 - Determinação de $\alpha$ e de $n\tau$

- ✓ - Realizar a montagem 2

- ✓ - Escolher uma impedância de  $600\text{\Omega}$  no comutador de gerador de impulsos para não haver reflexão de impulsos

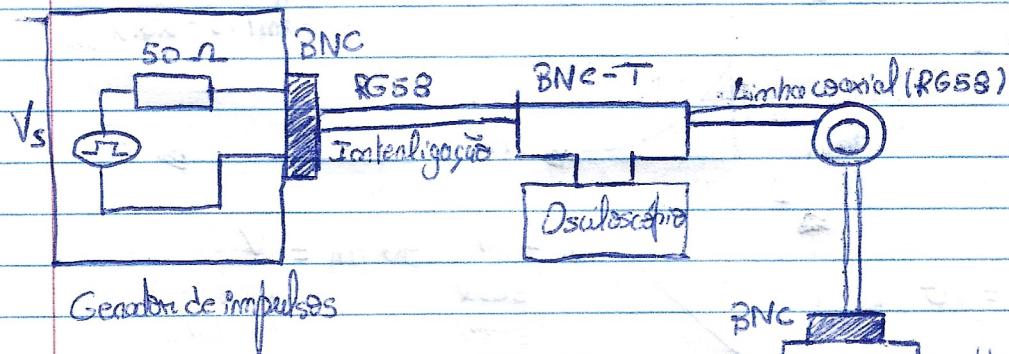
- ✓ - Traçar o gráfico de  $\ln V_m$  em função do número de impulso e usar o valor de  $T$  calculado para determinar a constante de alternância  $\alpha$

- ✓ - Calcular a velocidade de propagação de fase  $n\tau$  a partir da dependência da percurssão da sinal  $d = \lambda m L$ , no tempo,  $T$ .

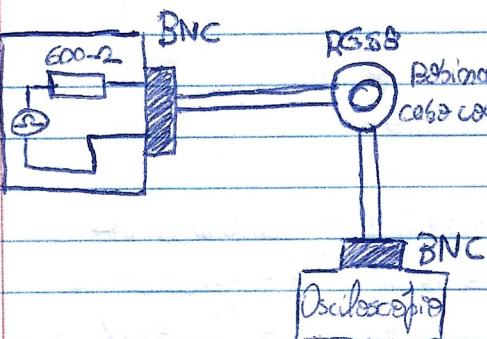
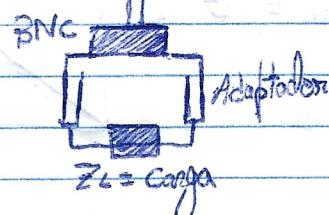
### 3 - Determinação de $\eta$ variando a frequência

- Realizar a montagem 3
- Variar a frequência em função da diferença de fase
- Construir um gráfico  $f(\phi)$  e determinar o valor de  $\eta$
- Comparar com o valor de referência  $\eta = \pm 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$  sendo  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Vs/A}$  e  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Vs/A}$

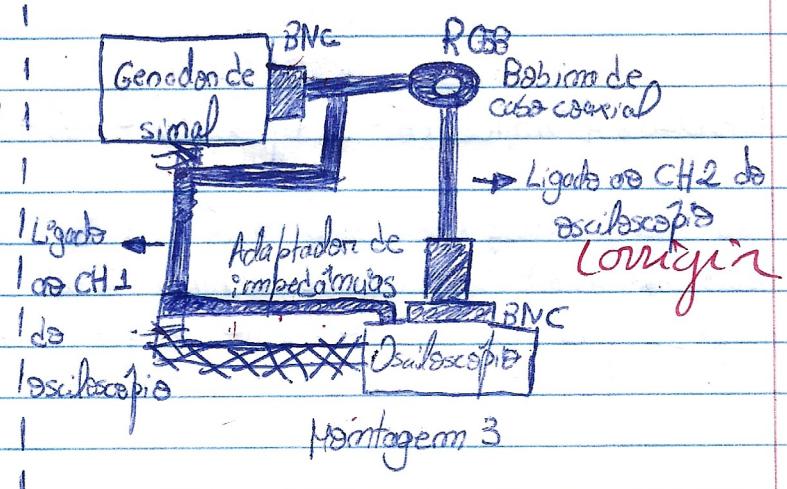
#### Montagem:



Montagem 1



Montagem 2



Montagem 3

#### Equações a verificar:

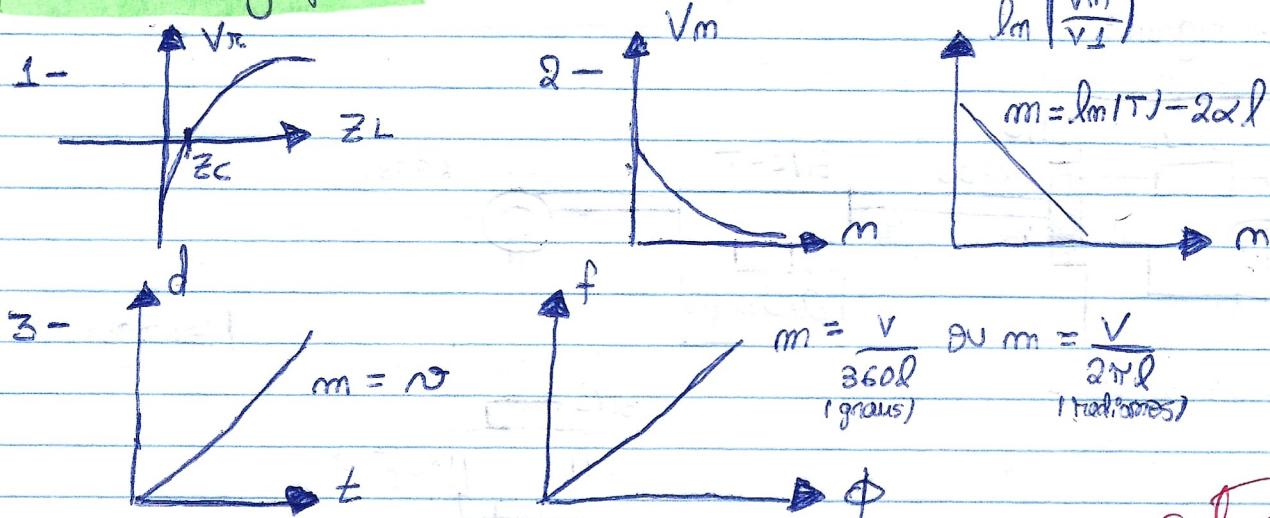
$$T_L = \frac{V_R(l,t)}{V_i(l,t)} = - \frac{I_R(l,t)}{I_i(l,t)} = \frac{Z_L - Z_C}{Z_L + Z_C} \quad (\text{coeficiente de reflexão})$$

$$\frac{V_{i+1}}{V_i} = T_L^{-2\alpha l} \quad (\text{razão entre picos de amplitude sucessivas})$$

$$\ln\left(\frac{V_m}{V_r}\right) = \ln[T^m e^{-2\alpha l m}] = [\ln(T) - 2\alpha l] m \text{ (resolução logarítmica)}$$

$d = \alpha t \Leftrightarrow 2ml = \alpha t$  (calculo da velocidade de propagação de fase através da)  $f = \frac{V}{360l} \quad \phi(0) = \frac{V}{2\pi l}$  (dependência do período do sinal)

Previsão dos gráficos:



M/Sel  
nº grados  
B+

### Lab 016: Atividade 4A - Cabo coaxial - Pás - laboratório

Para esta atividade laboratorial após realizar a montagem e desenhamos no osciloscópio o impulso incidente na linha coaxial seguido do impulso refletido na carga  $Z_L$  para um circuito aberto ( $Z_L = \infty$ ) e para o curto circuito ( $Z_L = 0$ )

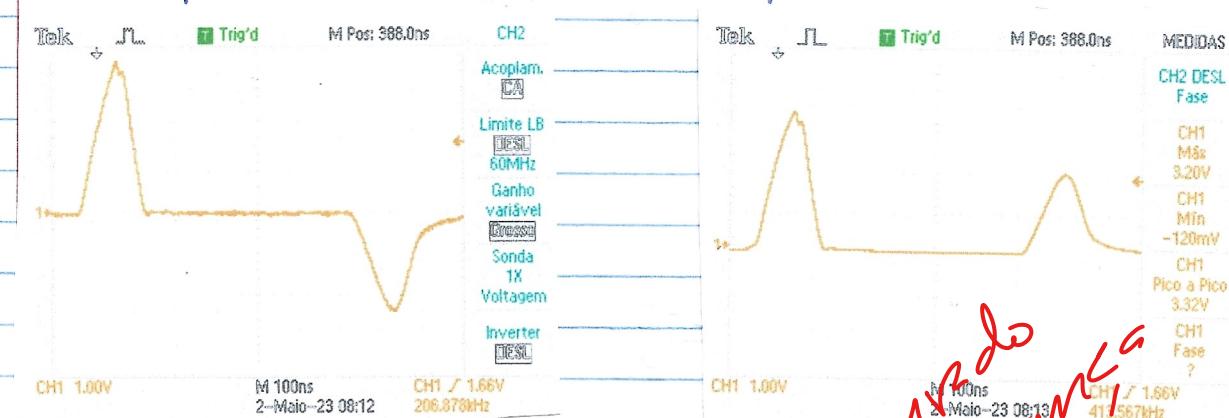


Figura 1 - Curto-circuito

Falta perfil moving de  $Z_L$

Figura 2 - Circuito aberto

NOTA: elas mostram os resultados usados!

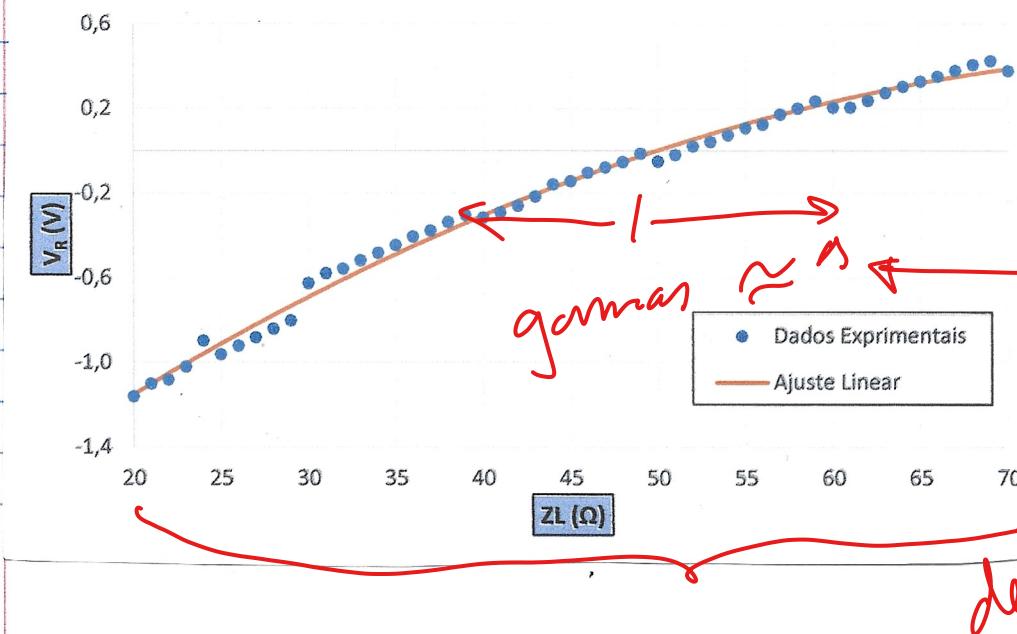
Observamos que em curto-circuito ( $Z_L = 0$ ) o sinal fica invertido e pantomado ( $T_L = -1$ ). Para o circuito aberto ( $Z_L = \infty$ ) o sinal não se inverte pantomado ( $T_L = 1$ ).

Esta observação está incluída com o efeito gaule pois o sinal é invertido para ter menor amplitude que o sinal gerado.

De seguida, tendo em conta que pretendemos estudar valores próximos de 50- $\Omega$  para  $Z_L$ , construimos um gráfico  $V_R(Z_L)$  sendo  $V_R$  a diferença entre a amplitude positiva e a módulo da amplitude negativa.

Impedância do gerador					
$Z_L (\pm 0,1\Omega)$	$V_- (\pm 0,01V)$	$V_+ (\pm 0,01V)$	$V_R (\pm 0,01V)$	Ajuste	Resíduos
20,0	1,40	0,240	-1,16	-1,15	-0,01
21,0	1,36	0,260	-1,10	-1,10	0,00
22,0	1,36	0,280	-1,08	-1,05	-0,03
23,0	1,34	0,320	-1,02	-1,00	-0,02
24,0	1,27	0,374	-0,896	-0,96	0,06
25,0	1,36	0,400	-0,960	-0,91	-0,05
26,0	1,32	0,400	-0,920	-0,86	-0,06
27,0	1,32	0,440	-0,880	-0,82	-0,06
28,0	1,28	0,440	-0,840	-0,78	-0,06
29,0	1,28	0,480	-0,800	-0,73	-0,07
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
61,0	0,595	0,801	0,206	0,25	-0,05
62,0	0,589	0,827	0,238	0,27	-0,03
63,0	0,581	0,854	0,273	0,29	-0,01
64,0	0,572	0,876	0,304	0,30	0,00
65,0	0,570	0,898	0,328	0,32	0,01
66,0	0,567	0,919	0,352	0,34	0,02
67,0	0,567	0,947	0,380	0,35	0,03
68,0	0,555	0,963	0,408	0,36	0,04
69,0	0,559	0,985	0,426	0,38	0,05
70,0	0,469	0,849	0,380	0,39	-0,01

Tabela 1 - Tabela relativa ao estudo da impedância do gerador.  
(Como a tabela era muito extensa apenas estão apresentadas as primeiras e as últimas 10 valentes recolhidas)



Parâmetros de Ajuste			
	a	b	c
Valor	-0,00038	0,065	-2,30
$u()$	0,00003	0,002	0,05
$r^2 / \sigma_y$	0,99	0,04	

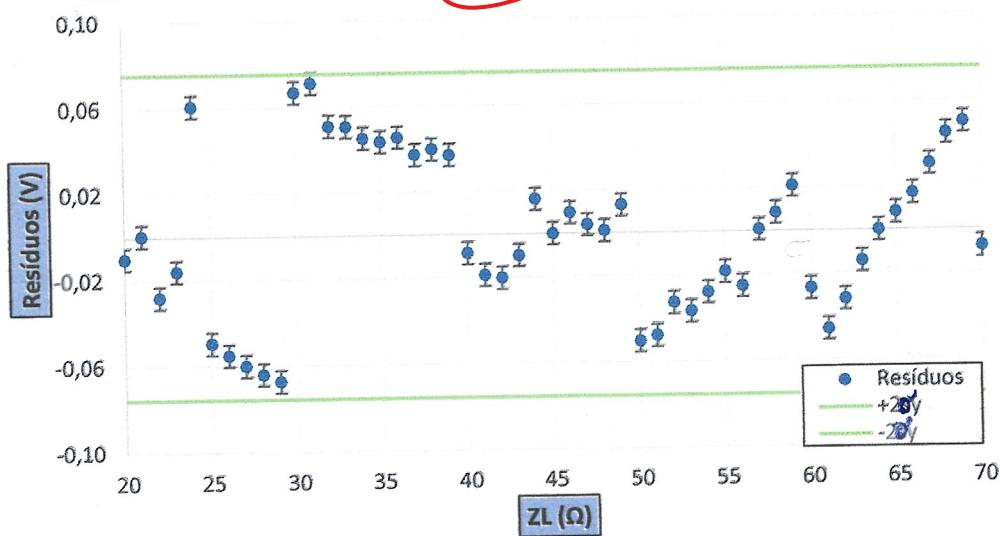


Gráfico 2 - Gráfico de resíduos para o gráfico Vz(ZL)

Neste estudo decidimos fazer um ajuste polinomial de 2º grau e escolhemos uma gama no intervalo  $[20, 70]$ . Nós medimos a amplitude do impulso de forma harmônica.

Nos resíduos vemos que todos os valores dentro do intervalo  $[-2\sigma_y; +2\sigma_y]$  observamos uma tendência que associamos à mudança dos valores da resistência. Poderíamos estar este erro sistemático associado a um defeito na resistência interna do sistema. Considera-se assim um bom ajuste já que  $r^2 = 0,99 \approx 1$

$$\text{A equação de ajuste é: } y = -0,00038x^2 + 0,065x - 2,30$$

Para  $y=0 \rightarrow Z_C = 50 \Omega$  ou  $Z_C = 121,1 \Omega$ . Sendo que a primeira zero desta equação é o valor de  $Z_C$ , concluímos que  $Z_C = 50 \Omega$

Como a média das incertezas dos parâmetros de ajuste é de  $\approx 3\%$  de respetivo parâmetro, podemos estimar que a incerteza de  $Z_C$  é  $3\%$  de  $Z_C$ , ou seja,  $2 \Omega$

$$Z_C = (50 \pm 2) \Omega$$

O valor de  $Z_C$  é idêntico ao esperado para essa moa e é possível calcular a erros.

De seguida, tivemos como objetivo nesta atividade laboratorial calcular o coeficiente de atenuação ( $\alpha$ ). Observamos um sinal do seguinte forma no osciloscópio:

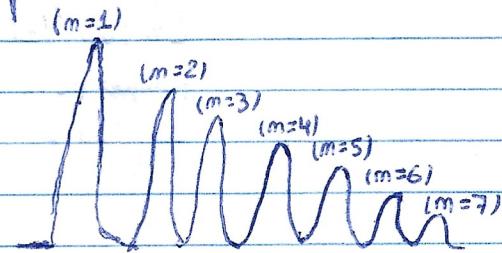


Figura B - Representação dos picos observados no osciloscópio

Observamos que a amplitude dos picos diminui e que os picos ficam cada vez mais longas pois o impulso é composto por várias frequências que após a reflexão se desfasaram.

Construimos um gráfico de  $\ln(V_n/V_1)$  em função de  $n$ , sendo  $n$  o número da pica.

Coeficiente de Atenuação					
$n$	$V_n (\pm 0,01V)$	$\ln(V_n/V_1) (\pm 0,01V)$	Ajuste	Resíduos	
1	9,31	0	0,077	-0,077	
2	5,62	-0,50	-0,480	-0,025	
3	3,38	-1,01	-1,036	0,023	
4	2,03	-1,52	-1,593	0,069	
5	1,25	-2,01	-2,149	0,141	
6	0,624	-2,70	-2,705	0,003	
7	0,312	-3,40	-3,262	-0,134	

Tabela 2 - Tabela com os valores relativos ao estudo necessário para calcular o coeficiente de atenuação ( $\alpha$ )

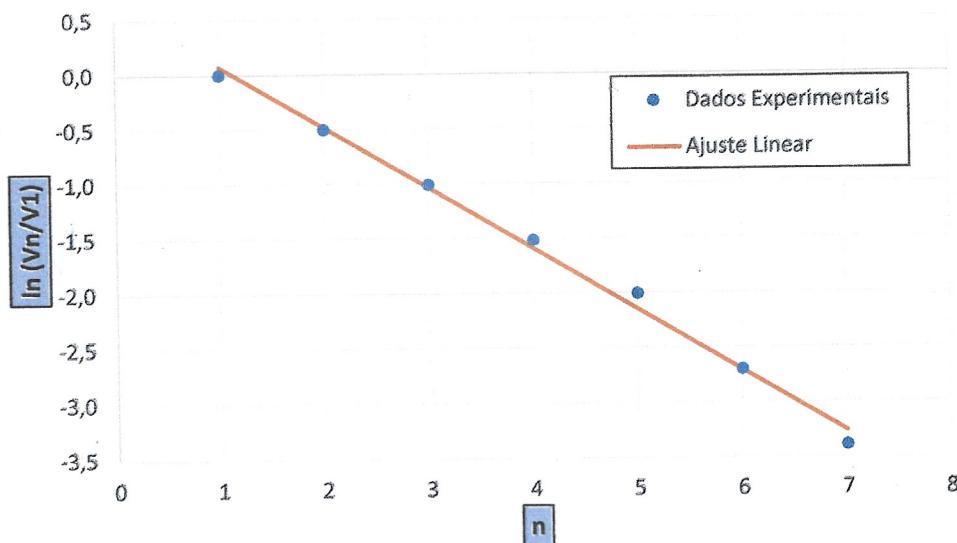


Gráfico 3 - Gráfico de  $\ln(V_n/V_1)$  em função de  $n$  (número da pica) e respetivo ajuste linear

Linha de grandeza  
Máx Nível

Ajuste Linear			
$m$	-0,56	0,63	$b$
$\sigma_m$	0,02	0,08	$\sigma_b$
$r^2$	0,99	0,1	$\sigma_y$

Mão é critério!

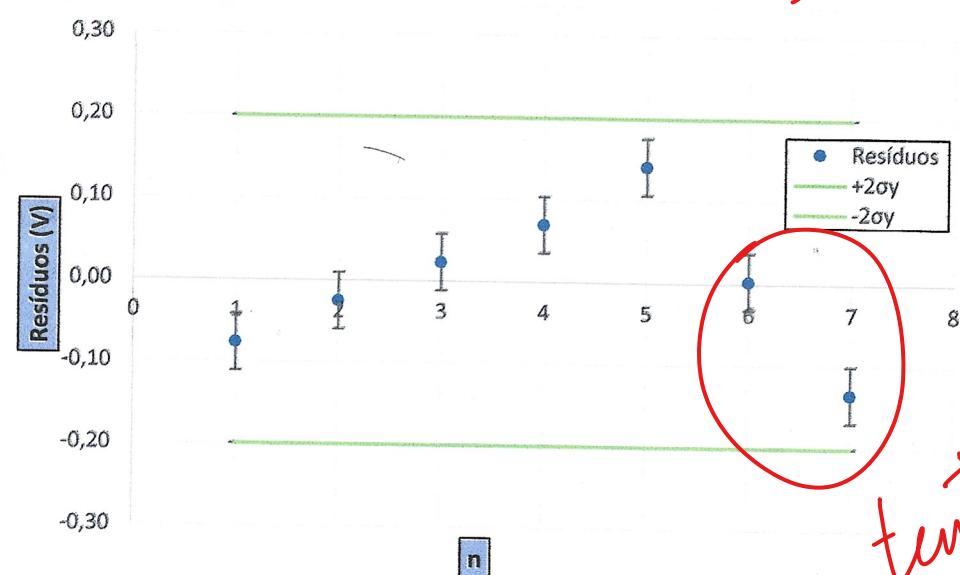


Gráfico 4 - Gráfica de resíduos para a gráfica de  $\ln(V_m/V_1)$  em função de  $m$  (mínima da pés)

tentar novos erros.

Tomando em conta que os resíduos se encontram no intervalo  $[-2\sigma_y; 2\sigma_y]$  e que  $r^2 = 0,99 \approx 1$  podemos considerar que foi obtido um bom ajuste.

$$\ln\left(\frac{V_m}{V_1}\right) = [\ln T - 2\alpha d]_m$$

$$T = 0,84$$

$$u(T) = \sqrt{\frac{2Z_c}{(Z_L+Z_c)^2}} = 0,02$$

$$m(\text{dedive}) = \ln T - 2\alpha d \Leftrightarrow 2\alpha d = \ln T - m \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \alpha = \frac{\ln T - m}{2d} = 0,0032 \text{ dB/m} < 0,02$$

$$\alpha(\alpha) = \sqrt{\left(\frac{u(T)}{2dT}\right)^2 + \left(\frac{u(m)}{2d}\right)^2 + \left(\frac{(\ln T - m)u(d)}{2d^2}\right)^2} = 0,0004$$

$$\alpha = (0,0032 \pm 0,0004) \text{ dB/m}$$

Para calcular a velocidade de propagação construímos um gráfico  $d(t)$

Velocidade Impulsos				
n	t (s)	d (m)	Ajuste	Resíduos
1	4,86E-06	127	128,63	-1,63
2	5,52E-06	254	255,16	-1,16
3	6,18E-06	381	381,70	-0,70
4	6,82E-06	508	504,40	3,60
5	7,50E-06	635	634,77	0,23
6	8,14E-06	762	757,47	4,53
7	8,84E-06	889	891,67	-2,67
8	9,50E-06	1016	1018,20	-2,20

Tabela 3 - Tabela com os valores usados para calcular a velocidade de propagação

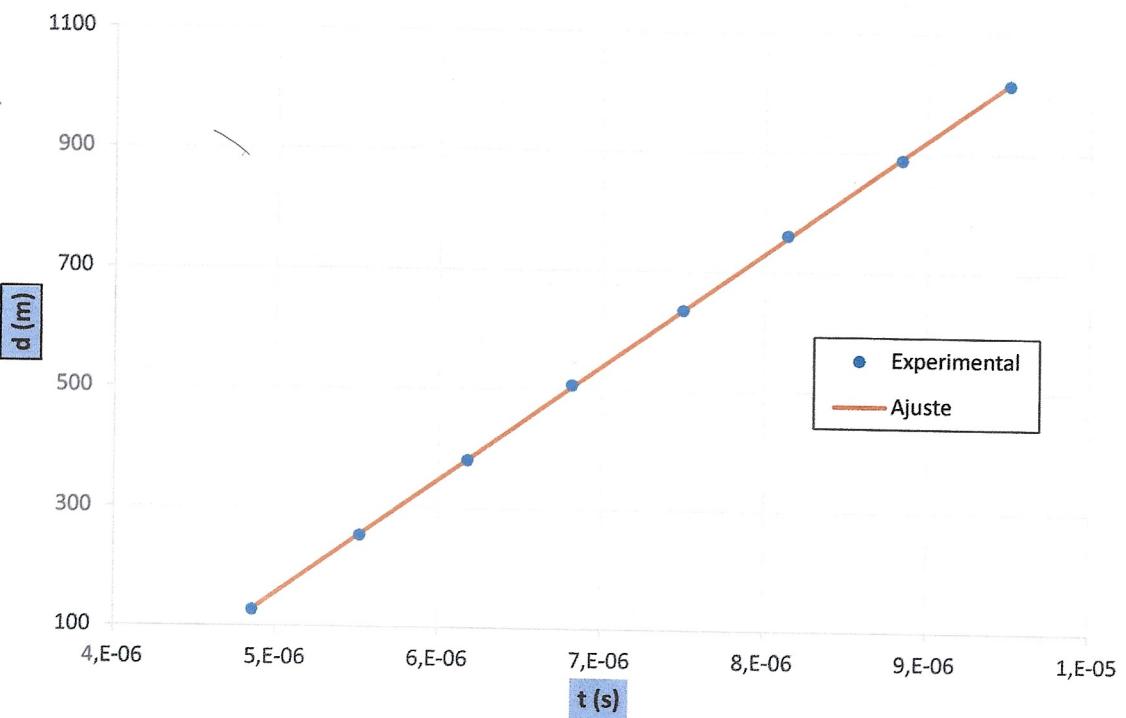


Gráfico 5 - Gráfico  $d(t)$  usado para o cálculo da velocidade de propagação

Ajuste Linear		
$m$	1,957E+08	$b$
$\sigma_m$	6,73E+05	$\sigma_b$
$r^2$	0,999993	$\sigma_y$

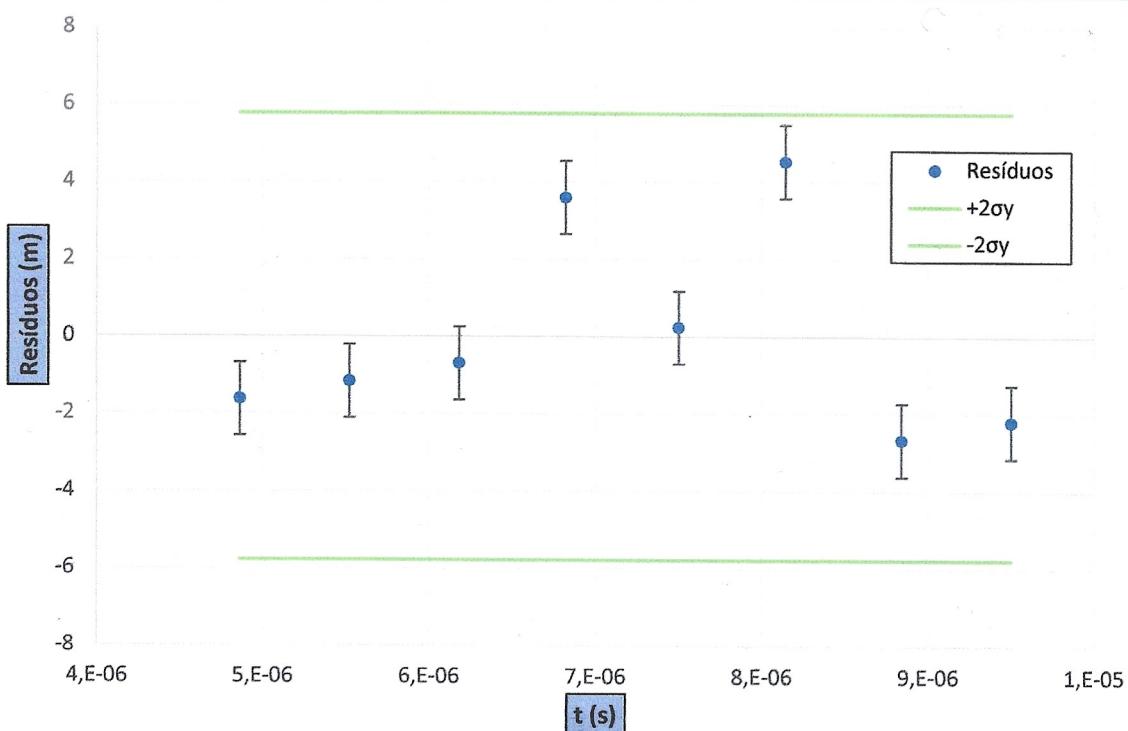


Gráfico 6 - Gráfico de resíduos para o gráfico  $d(t)$

Tentando em conta que os resíduos se encontram no intervalo  $[-2 \text{ dy}, 2 \text{ dy}]$  e que  $\tau^2 = 0,99993 \approx 1$  podemos considerar que foi obtida um bom ajuste.

$$V = \frac{d}{t} = m(\text{declive}) \quad V = m^{\pm} u(m) = \cancel{1,917 \pm 0,007} (1,917 \pm 0,007) \times 10^8 \text{ m/s}$$

Tendo em conta que  $V_{teórica} = 1,98 \times 10^8 \text{ m/s}$  teremos um erro

$$\epsilon = 3,29\%$$

Por fim, calculamos a velocidade de propagação através da frequência decimal de entrada em função da diferença de fase construída, assim, o gráfico  $f_1(\phi)$

Velocidade Frequências			
$\phi$ ( $\pm 0,01$ )	f ( $\pm 0,01E+06$ Hz)	Ajuste	Resíduos
18,9	9,00E+06	9094126	94126
16,0	7,80E+06	7692680	-107320
12,5	6,10E+06	6001281	-98719
9,6	4,50E+06	4599835	99835
6,4	3,00E+06	3053413	53413
3,1	1,50E+06	1458665	-41335

Tabela 4 - Tabela com os  
valores usados para construir o  
gráfico  $f(1)$

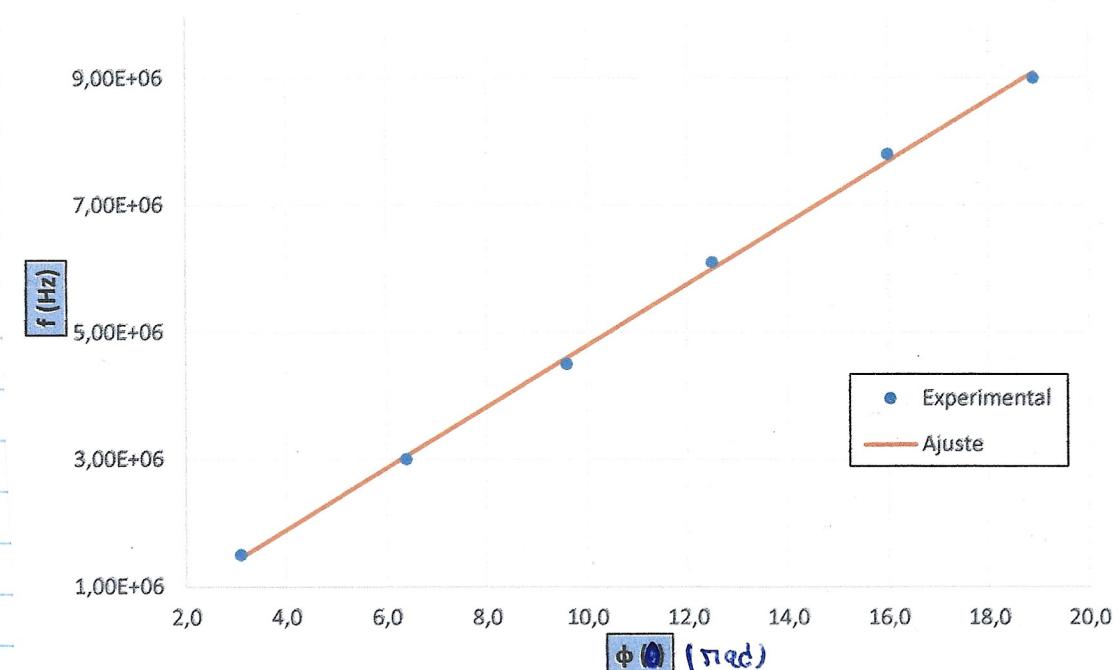


Gráfico 7 - Gráfico de  $f(t)$  usado para calcular a velocidade de propagação

Ajuste Linear		
m	483257	-39432 b
$\sigma_m$	7983	98435 $\sigma_b$
$r^2$	0,9989	105654 $\sigma_y$

alg. magnid.  
errores

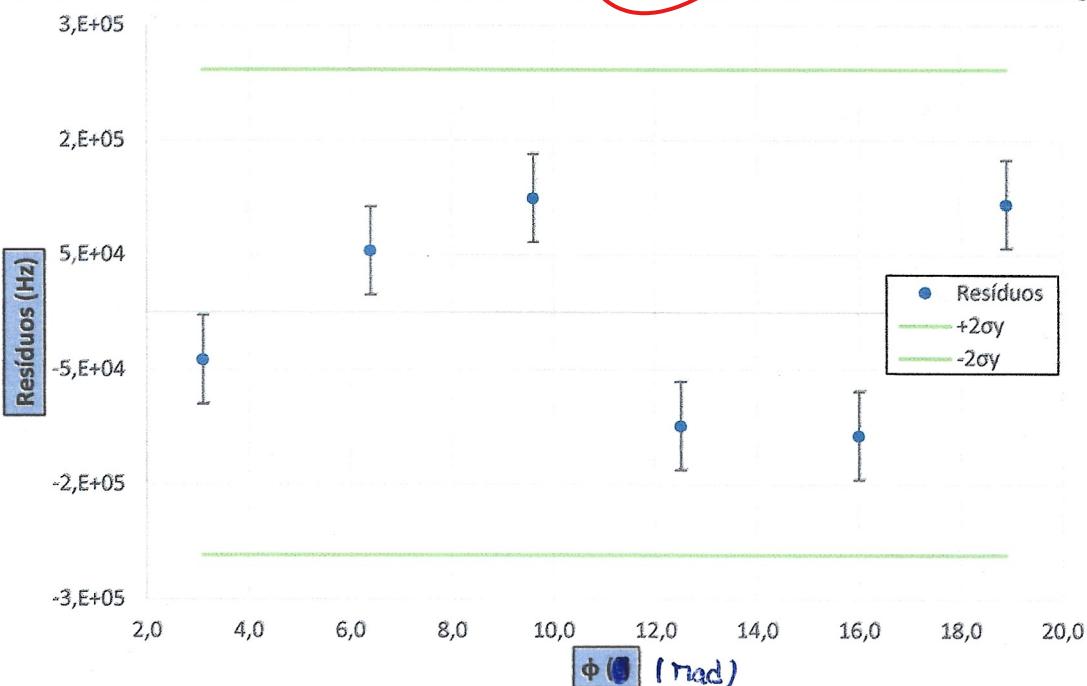


Gráfico 8 - Gráficos de resíduos para o gráfico de f em função de  $\phi$

Tendo em conta que os resíduos se encontram no intervalo  $[-2\sigma_y, 2\sigma_y]$  e que  $r^2 = 0,9989 \approx 1$  podemos considerar que foi obtido um bom ajuste.

$$f = \frac{V}{2\pi l} \phi \text{ (red)} \quad m = \frac{V}{2\pi l} \Leftrightarrow V = m 2\pi l \Leftrightarrow V = 1,92 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$m = \frac{f}{\phi} \text{ (declive)} \quad u(v) = \sqrt{(2\pi l u(m))^2 + (2\pi m u(l))^2} = 3 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$V = (1,92 \pm 0,03) \times 10^8 \text{ m/s}$$

Tendo em conta que  $V_{\text{teórica}} = 1,98 \times 10^8 \text{ m/s}$  obtemos um erro

$$\varepsilon = 3,1\%$$

## Conclusão:

$$Z_c = (50 \pm 2) \Omega \quad \alpha = \text{[redacted}] (3,2 \pm 0,4) \times 10^{-3} \text{ dB/m}$$

$$V = (1,917 \pm 0,007) \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\epsilon = 3,3\%$$

$$V = (1,92 \pm 0,03) \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\epsilon = 3,2\%$$

Para determinar  $Z_c$ , a resistência a qual o sinal refletido é nulo, realizamos um circuito fechado usando gerador de impulsos, um cabo coaxial e uma caixa de resistências. Tendo em conta que obtemos um valor idêntico ao esperado mas calculamos a erro.

De seguida calculamos o coeficiente de atenuação através de um gráfico  $\ln(V_m/V_1)$  em função de  $n$  e obtemos um valor dentro da gama esperada ( $< 0,02 \text{ m}^{-1}$ ).

Através de um gráfico  $c(t)$  e de um gráfico  $f(\phi)$  calculamos a velocidade de propagação usando duas equações diferentes.

Para ambas as equações o valor obtido está próximo ao valor teórico esperado e portanto os erros são próximos ( $3,3\%$  e  $3,2\%$ ). Isto se torna possível concluir qual das duas permite obter de um modo mais preciso o valor teórico esperado.

Sendo assim e não havendo mais nada a fazer a atividade 4A é dada como concluída.