

Atividade T4A

→ Estudo da transmissão por cabo coaxial

15.5

Objetivos:

- Estudar a amplitude do impulso refletido, em função da impedância da carga ligada à liilha coaxial, $V_r(Z_L)$.
- Determinar a constante de atenuação α e da velocidade v de propagação de fase na liilha coaxial.
- Determinar a velocidade de propagação de sinal v numa liilha coaxial, variando a frequência do sinal à entrada.

Equipamento e Montagem:

• Gerador de impulsos (com fonte de alimentação)

- $T \approx 5\mu s$
- Largura dos impulsos a meia altura $200\mu s$
- $R_{int} = 50\Omega$ ou 600Ω
- saída coaxial BNC

• Gerador sinusoidal

- $R_{int} = 50\Omega$
- saída coaxial BNC (no MAIN)



• Liilha coaxial

- comprimento $(63,50 \pm 0,05)\mu m$
- cabo coaxial RG58
- condutores em cobre estanhado (diâmetro $a = 0,9\mu m$)
- dielétrico polietileno (diâmetro $b = 2,95\mu m$)
- revestimento externo PVC
- impedância característica 50Ω
- capacidade $100\text{ pF}\mu m^{-1}$
- atenuação $< 0,02\text{ dB}\mu m^{-1}$

• Osciloscópio

• Terminação 1 da liilha coaxial

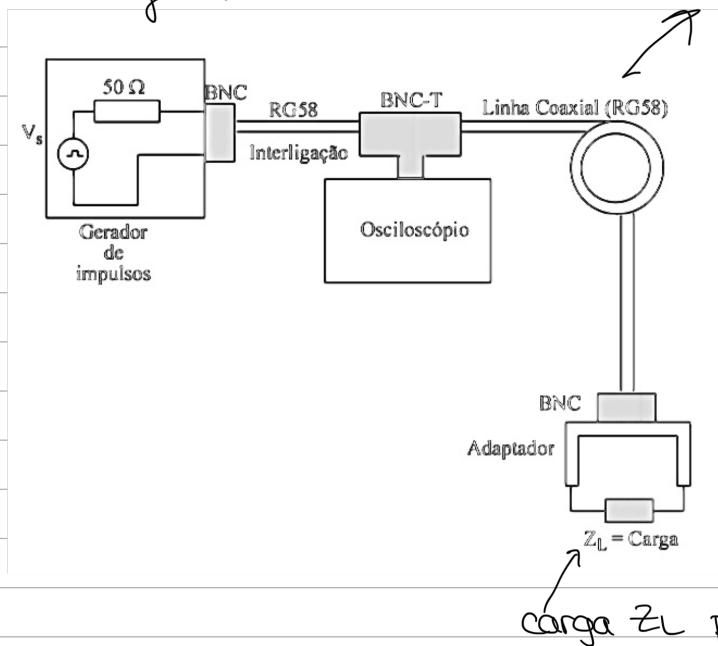
- caixa de resistências

• Terminação 2 da liilha coaxial

- adaptador de impedâncias (adapta a impedância da liilha à entrada do osciloscópio).

1.2.2 - Estudo da amplitude do impulso refletido, seu função² da impedância da carga ligada à linha coaxial, $V_r(z)$

→ Montagem



61,50 W

Circuito para o estudo da amplitude refletida em função da carga à saída da linha coaxial.

1-

Quando $Z_L = Z_c \Rightarrow$ adaptação de impedância da carga à linha de transmissão

↓
Valor nulo para o coeficiente de reflexão Γ_L

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_c}{Z_L + Z_c}$$

→ Variar o valor da caixa de resistências ($Z_L = R$)

→ Traçar gráfico $V_r(z)$

→ Calcular Z_c

→ ponto de intersecção da linha de ajuste ($V_r(z)$) com o eixo Z_L

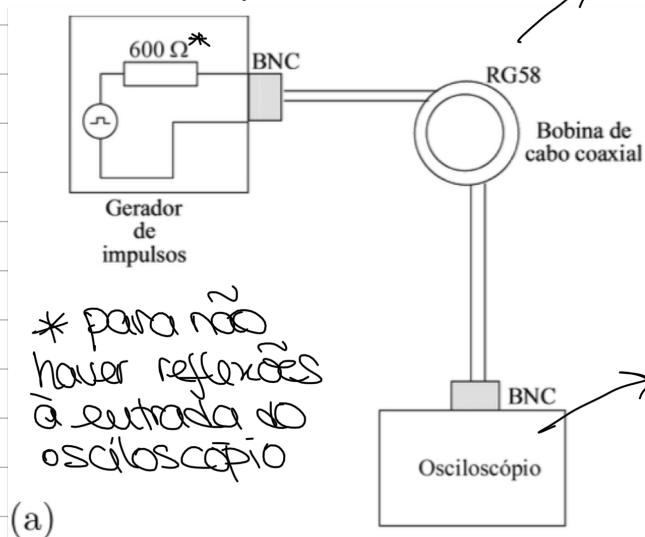
2-

Registrar as observações, no osciloscópio, do impulso incidente na linha coaxial seguido do impulso refletido na carga Z_L

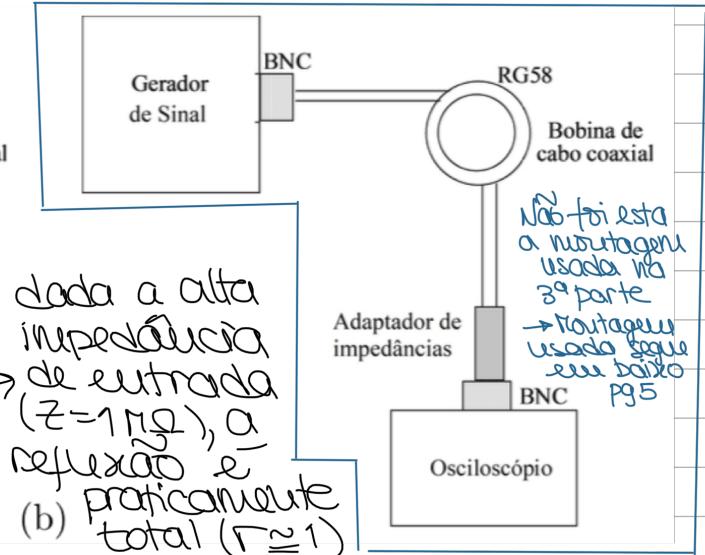
- para circuito aberto ($Z_L = \infty$)
- para curto-círcuito ($Z_L = 0$)

1.2.3 - Determinação da constante de atenuação α do cabo coaxial e da velocidade v de propagação de fase

→ Montagem



Comprimento = 61,50 m



Círculo a - adequado ao cálculo do coeficiente de atenuação da lixa coaxial

Círculo b - adequado à determinação da velocidade de propagação de sinal na lixa coaxial

$$\Gamma = \frac{z_0 - z_c}{z_0 + z_c} = \frac{600 - 50}{600 + 50} \approx 0,846$$

Razão entre picos de amplitude sucessivos observados no osciloscópio:

$$\frac{V_{i+1}}{V_i} = \Gamma e^{-2\alpha l}$$



Uma escala logarítmica para reflexões de ordem i e $i+n$:

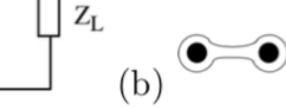
$$\ln\left(\frac{V_n}{V_i}\right) = \ln [\Gamma^n e^{-2\alpha l n}] = [\ln(\Gamma) - 2\alpha l]n$$

- Traçar o gráfico de $\ln V$ em função do número n do impulso
- Usar o valor de Γ calculado e determinar a constante de atenuação α
- Comparar os valores especificados para o cabo RG58

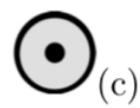
→ Calcular, a partir da dependência do percurso do sinal, $d = d \cdot nL$, do tempo (t), a velocidade de propagação de fase



(a)
esquema representativo
de uma liilha de transmissão
uniforme



(b)
representação
da vista de topo
de uma liilha bifilar



(c)
representação
da vista de
topo de um
cabo coaxial

1.2.4 - Determinação da velocidade de propagação de sinal
✓ numa liilha coaxial, variando a frequência do sinal à entrada

→ Montar o circuito b

→ Observar no osciloscópio os sinais nas duas extremidades do cabo coaxial

variar frequência sinal no gerador

↓
alteração da diferença de
fase entre os dois sinais

→ Registar a
frequência em
função da dife-
rencia de fase

→ A partir de $f(\phi)$, calcular a velocidade de propagação dos sinais elétricos no cabo coaxial

$$v_{\text{de referência}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}, \mu \approx \mu_0$$

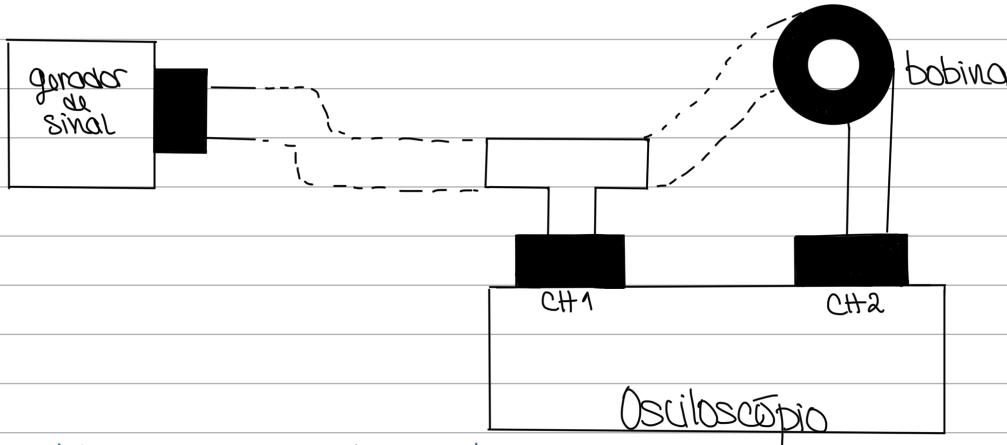
$$\epsilon(\text{polietileno}) = 2,3 \times \epsilon_0$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/Nm}^{-1}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

valor de
produção
classificação

GLS
(não é exectar
não se coloca)

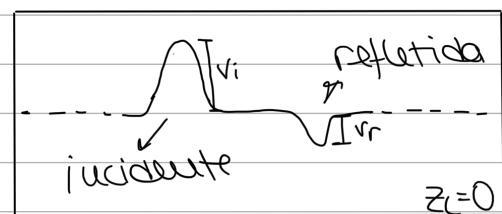
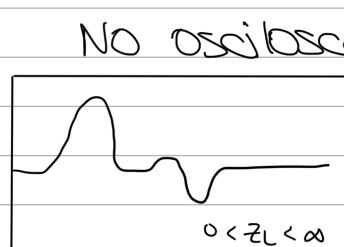


Montagem 1.2.3(b)

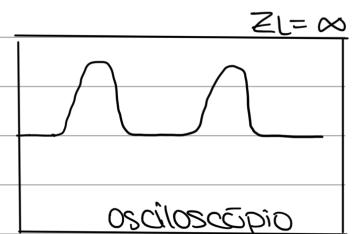
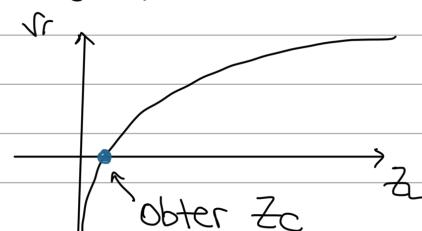
→ PL7 → fazer atividade - 28 de abril 2023

1.2.2-

- Variar Z_L na gama de $[0, 100]\Omega$ (de 1 em 1) para obter uma boa densidade de pontos.



- Traçar gráfico de V_r em função de Z_L



→ para o caso de circuito aberto

$$Z_L = \infty$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_0 - Z_c}{Z_0 + Z_c} = 1$$

Verificar

→ para o caso de curto circuito

$$Z_L = 0$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_0 - Z_c}{Z_0 + Z_c} = -1$$

1.2.3 -

- a) - Recorrer ao osciloscópio e, usando o cursor, registrar o valor de pico (V_i, t)



→ observado
no osciloscópio

- Registrar $\frac{V_n}{V_i}$

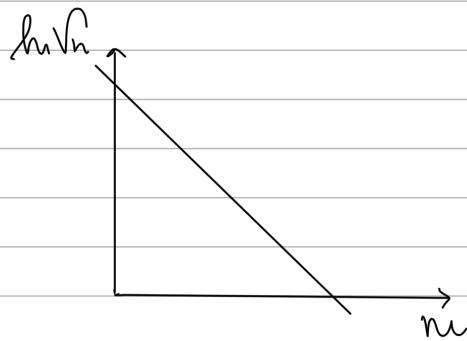
$$\Gamma \approx 0,846$$

$$\frac{V_n}{V_i} = \frac{V_{i+1}}{V_i} = \Gamma e^{-2\alpha}$$

n impulsos

$$\log\left(\frac{V_n}{V_i}\right) = [\log\Gamma - 2\alpha l] n$$

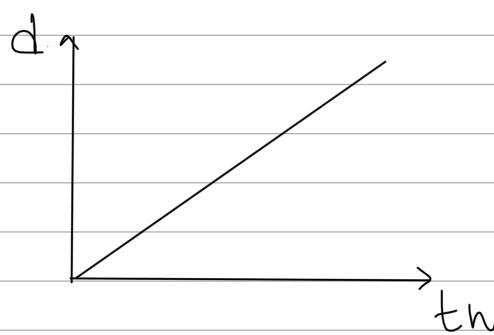
$$u = \log\Gamma - 2\alpha l \Leftrightarrow \alpha = \frac{\log\Gamma - u}{2l}$$



- Calcular velocidade de propagação

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{\Delta l}{t_{i+1} - t_i}$$

$$v = \frac{2nl}{tn}, n > 1$$



$$\frac{2nl}{d} = t_n \times v$$

$$\bullet u(v) = u(n)$$

$$\bullet u(\ln(Vn)) = \frac{u(Vn)}{Vn}$$

$$\bullet u^2(\alpha) = \left(\frac{\partial \alpha}{\partial T}\right)^2 \cdot u(\Gamma)^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial u}\right)^2 u^2(n) + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial l}\right)^2 u^2(l)$$

$(u(l) = ?)$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2\ell\Gamma}\right)^2 \cdot u^2(\Gamma) + \left(\frac{-1}{2\ell}\right)^2 \cdot u^2(u)}$$

→ valor de referência de V
 $\mu \approx \mu_0$ $\epsilon_{\text{(polietileno)}} \approx 2,3\epsilon_0$

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \approx 1,978 \times 10^8 \text{ MS}^{-1}$$

b)

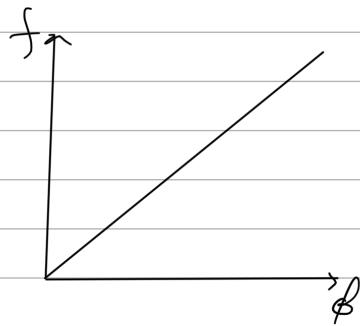
- Variar frequência do sinal

→ registrar diferença de fase, ϕ , entre sinais

- $f=0 \Rightarrow \phi=0$ ^{em fase}
- $\phi=\pi \rightarrow \text{antifase}$
- $\phi=2\pi \rightarrow \text{fase}$

$$V(\text{em fase}) = \frac{2\pi l}{\phi} f$$

$$\phi(f) = \frac{2\pi l}{V} \cdot f \Rightarrow f = \frac{V}{2\pi l} \phi$$



$$n = \frac{V}{2\pi l} \Rightarrow V = n \cdot 2\pi l$$

$$\bullet u^2(V) = \left(\frac{\partial V}{\partial u}\right)^2 u^2(u) \Leftrightarrow u(V) = \sqrt{(2\pi l)^2 u^2(u)}$$

Ver o resto da correção no tischalho da
 Maria

Análise de dados:

1.2.2 -

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

- o sinal refletido tem amplitude positiva
- Ao verificar Γ :

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \neq 1 \quad (|V_r| < |V_i|)$$



Como o sinal refletido já percorreu uma distância maior, já sofreu atenuação, daí $\Gamma \neq 1$.

O esperado era que o gráfico visível no osciloscópio fosse:



este seria
o caso
ideal em
que $V_r = V_i$

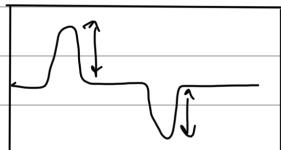
Para curto-circuito ($Z_L = 0$)

- Ao verificar Γ :

- O sinal refletido tem amplitude negativa

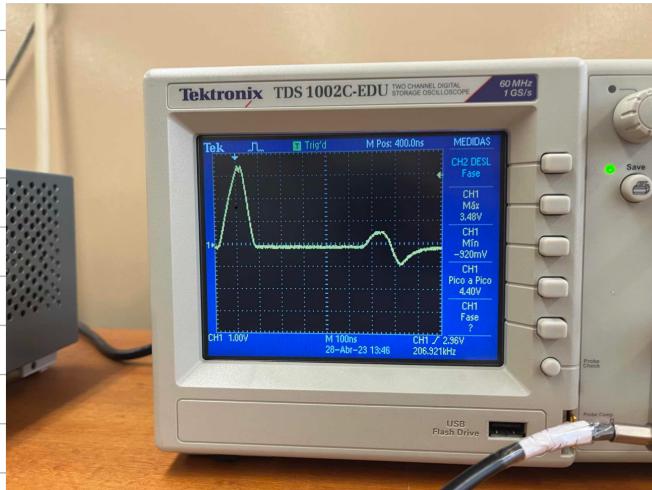
→ Selecionado na caixa de resistências

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \neq -1 \quad \rightarrow \text{ocorrece } *^1 \text{ pelo mesmo motivo}$$



$$V_r = -V_i$$

Ao variar Z_L :



$$V_r = |V_{r\max}| - |V_{r\min}|$$

$$= V_{r\max} + V_{r\min}$$

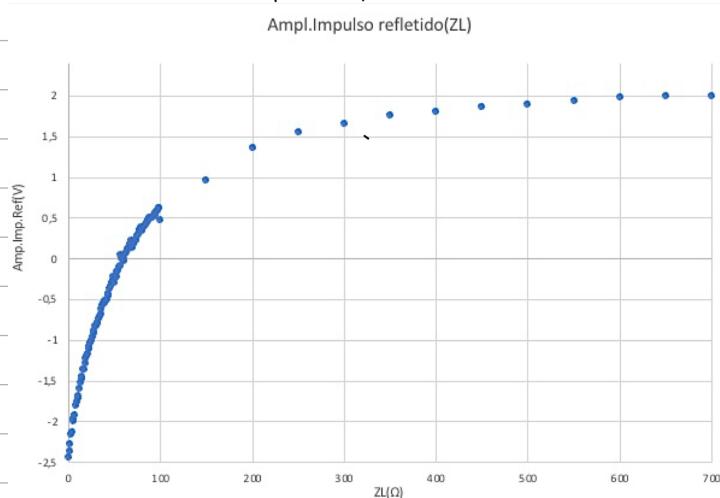
$$\mu(V_r) = \sqrt{\mu(V_{r\max})^2 + \mu(V_{r\min})^2}$$

Determinação de $V_{r\max}$ e $V_{r\min}$

colocamos um cursor no zero da onda e outro no pico positivo

colocamos um cursor no zero da onda e outro no pico negativo

→ Gama experimental $[0, 700] \Omega$
 $V_r \in [-2,32; 2,00]$

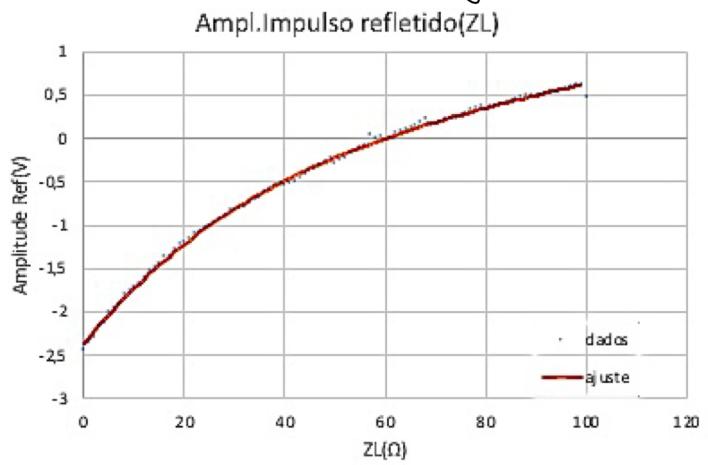


É possível observar que com o aumento de Z_L , os valores de V_r tendem para valores de curto-circuito ($r_s \approx 1$)

Para determinar Z_C experimental, analisámos os dados obtidos em que a amplitude de impulso é zero.

Para $Z_L = 58$, a amplitude de impulso é zero. Logo, considerámos $Z_C^{exp} = 58$

Retiramos os pontos devidos do ajuste anterior e obtivemos um novo gráfico na gama $[0, 100] \Omega$



Ajuste polinomial:

a4	a3	a2	a1	b	
-1E-08	5E-06	-0,00079	0,071	-2,37	coeficiente
2E-09	6E-07	5E-05	2E-03	1E-02	s()
0,998	0,04	#N/D	#N/D	#N/D	r^2

A equação de ajuste é polinomial de 4º grau, tendo forma de:

$$y = a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + b$$

$$y(x) = 0 \Leftrightarrow x = 49,81$$

$$\text{logo, } z_c(\text{ajuste}) = 49,81 \Omega$$

$$u(z_c(\text{aj})) = |49,81 - 50| = 0,19 \Omega$$

$$z_c = (49,8 \pm 0,2) \Omega$$

$$z_c \text{ tabelado} = 50 \Omega$$

para z_c tabelado:
 $\text{Erro}(\%) = 0,4\%$

para z_c experimental:
 $\text{Erro}(\%) = 14,1\%$

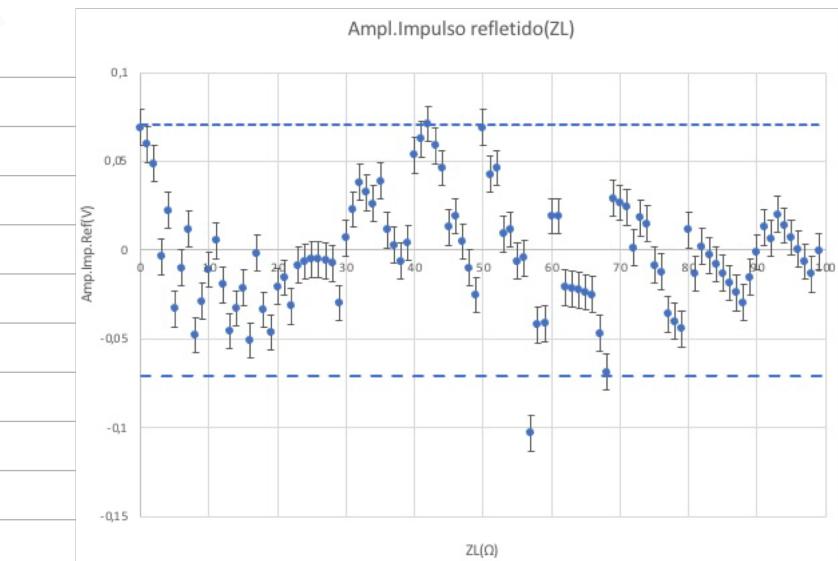


Gráfico de resíduos com barras de incerteza:

Barras de incerteza:

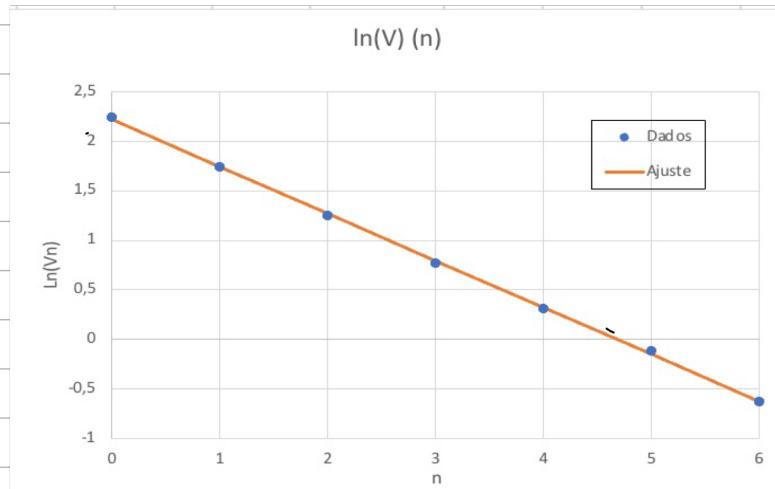
$$\sigma = \sqrt{\sigma(V_{max})^2 + \sigma(V_{min})^2}$$

Foi possível concluir, a partir da observação do gráfico, que os resíduos estão próximos de zero. Um ponto encontra-se fora do intervalo de confiança.

Os resíduos apresentam uma tendência em escada. Uma possível explicação para este erro foi a mudança para o botão das dezenas na caixa de resistências.

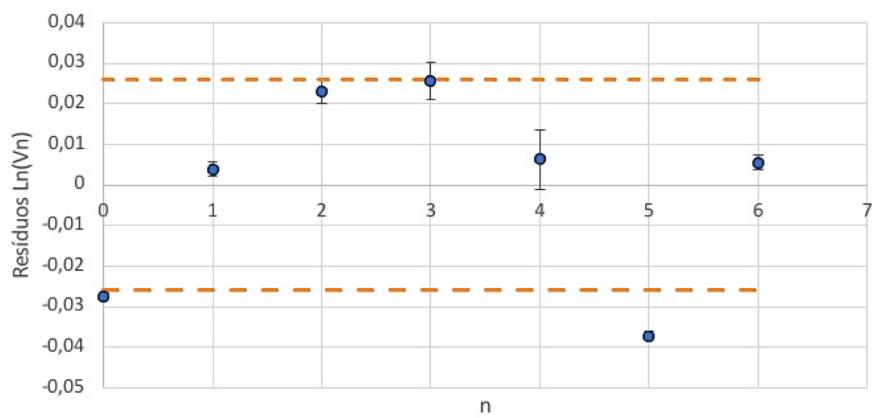
1.2.3 –
a)

Para calcular α , obtive o gráfico de $\ln(V_r)$ em função de n (n impulsos)

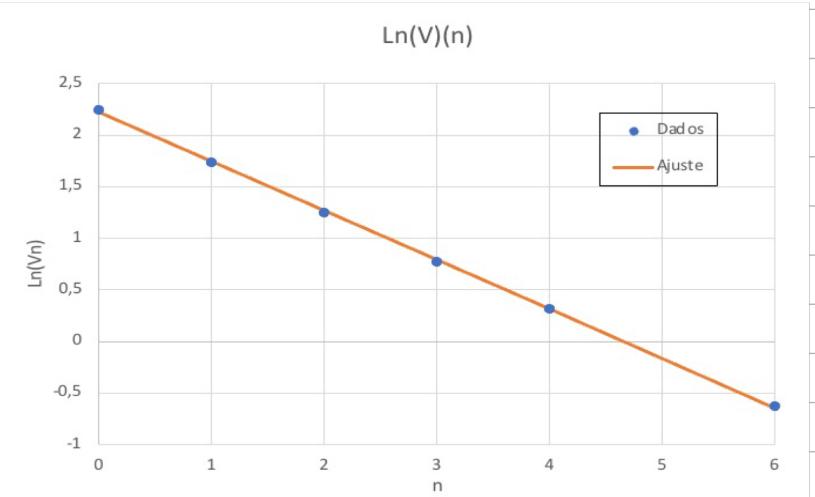


m	-0,474	2,22	b
s _m	0,005	0,02	s _b
r ²	0,9995	0,03	s _y

Gráfico de resíduos:

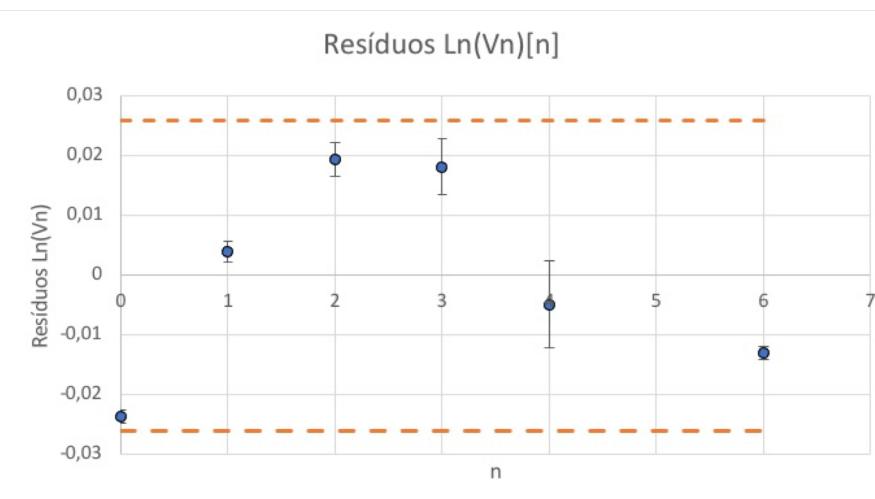


Como o ponto $n=5$ está fora da gama de confiança, fiz um novo ajuste retirando este ponto.



Novo ajuste:

m	-0,478	2,22	b
s_m	0,004	0,01	s_b
r^2	0,9997	0,02	s_y



Utilizei o ajuste acima para o cálculo de α .

$$\frac{V_{i+1}}{V_i} = \Gamma e^{-2\alpha l}$$

$$\log\left(\frac{V_n}{V_i}\right) = (\log \Gamma - 2\alpha l)n$$

$$\Leftrightarrow \log V_n - \log V_i = (\log \Gamma - 2\alpha l)n$$

$$\bullet u = \log \Gamma - 2\alpha l \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{\log \Gamma - u}{2l}$$

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

$$\Gamma = \frac{z_0 - z_c}{z_0 + z_c}$$

$$u(\Gamma) = \left(\frac{\partial \Gamma}{\partial z_c}\right)^2 u(z_c)^2$$

$$u(\Gamma) = \sqrt{\left(\frac{-2z_0}{(z_0 + z_c)^2}\right)^2 \cdot u(z_c)^2}$$

→ Determinação de Γ

$$\rightarrow z_0 = 600 \Omega$$

$$\rightarrow z_c = 49,81 \Omega (z_c(\alpha))$$

$$\Gamma = (0,847 \pm 0,001)$$

$$u(\Gamma) = 0,001$$

$$\Gamma_{ref} = 0,846$$

$$\text{Erro}(\%) = 0,08\%$$

→ Determinação de α

$$-l = 61,5 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{\log \Gamma - u}{2l}$$

$$\mu(\alpha) = 1 \times 10^{-5}$$

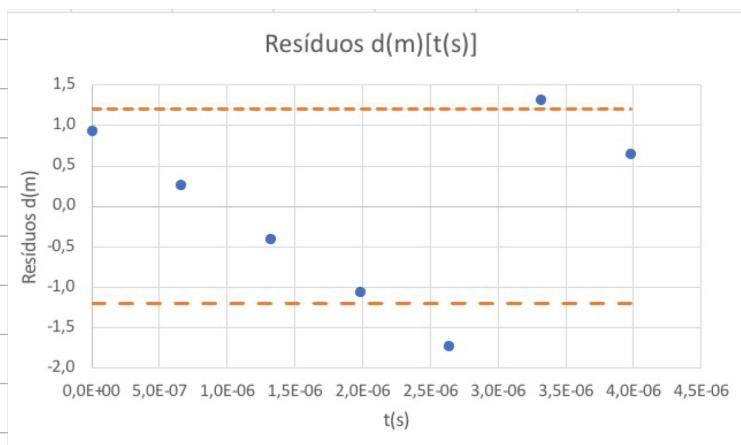
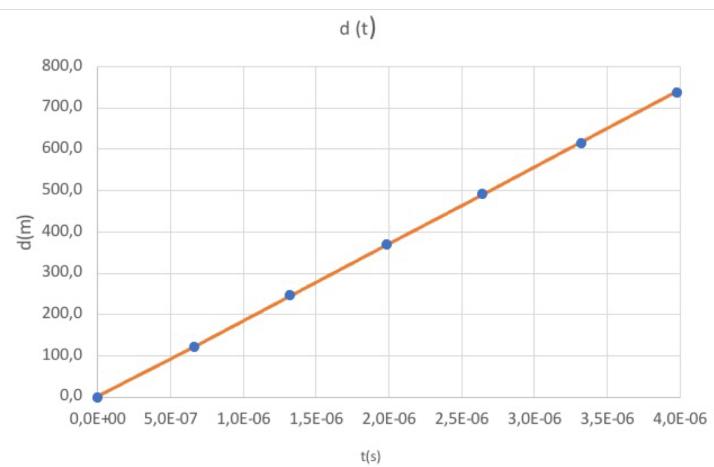
$$\alpha = 0,0033 \text{ dB m}^{-1}$$

$$\alpha = (3,3 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ dB m}^{-1}$$

Não é possível calcular o erro de α pois não existe valor certo para referência.

Tracei o gráfico de $d(t)$ para calcular a velocidade de propagação de fase.

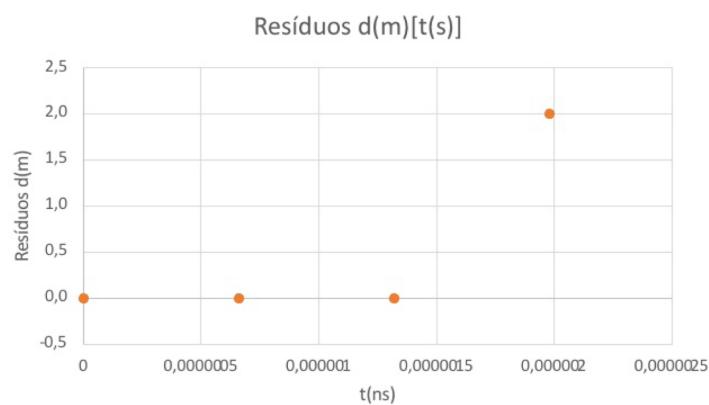
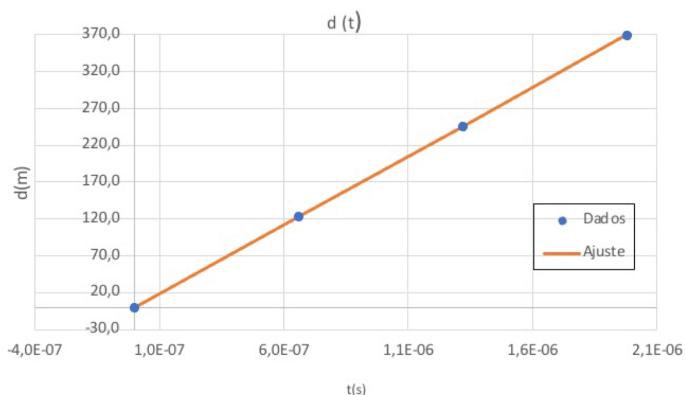
Para obter o tempo, no osciloscópio, usei um cursor vertical no pico incidente e outro no pico refletido que queria saber o instante.



Analisando o gráfico de resíduos é possível observar uma clara tendência em duas ganchos.

Decidi retirar alguns pontos duvidosos e fazer um novo ajuste.

m	1,854E+08	0,9	b
s_m	3E+05	0,8	s_b
r^2	0,99998	1	s_y



Não foram colocados barros de erro porque $d = \text{constante} \Rightarrow u(d) = \sqrt{\frac{(\partial d \cdot u(t))^2 + (\partial d \cdot u(e))^2}{\partial t}}$
não tem incerteza logo não é possível determinar $u(d)$

m	1,8636363636364E+08	-6E-14	b
s_m	3E-08	4E-14	s_b
r^2	1,0	4E-14	s_y

Este foi um bom ajuste pois $r^2 = 1,0$ e para além disso três dos quatro pontos de resíduos têm valor zero.

$$\text{Sendo } v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}, \quad v_{\text{ref}} = 1,976 \times 10^8 \text{ ns}^{-1}$$

Como $d = vt + d_0$

$$v = 1,863636 \times 10^8$$

Posto isto,

$$v = 1,863636 \times 10^8$$

$$\text{Erro}(\%) = 5,7\%$$

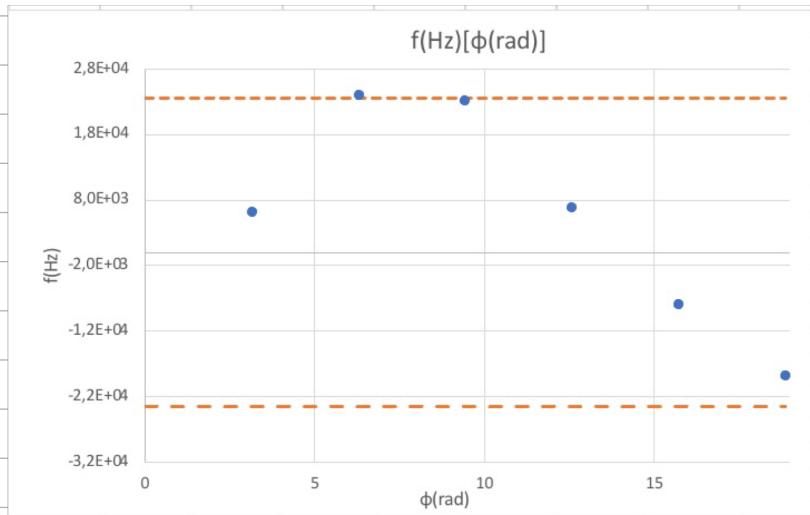
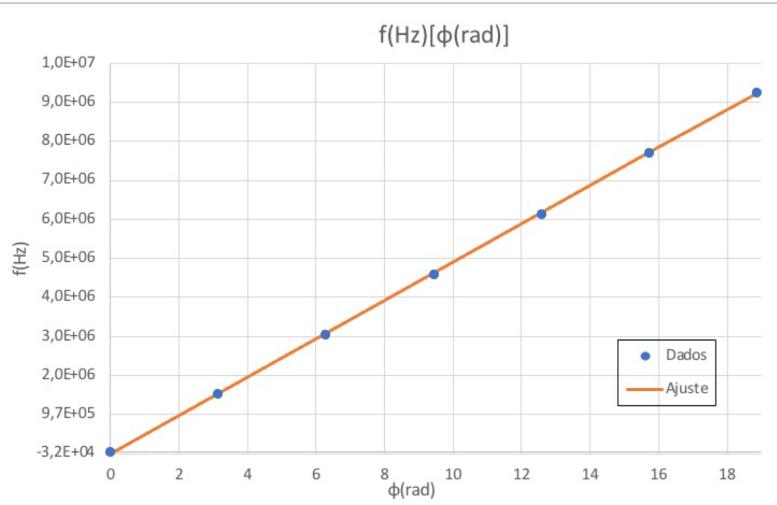
$$u(\cdot) = 1,10^{-14}$$

Apesar de um ajuste satisfatório ter tive um erro próximo de 6%. Tendo em conta esta observação acredito que durante a experiência cometemos erros sistemáticos.

1.2.3 -

b) Calcular velocidade de propagação de sinal numa liha coaxial

Considerando os pontos de menor frequência como $0 \times \pi$ (em fase) e os restantes contados em intervalos de π .



Todos os pontos dos resíduos ficaram dentro do intervalo de confiança logo, não fiz outro ajuste.

m	4,90E+05	-3E+04	b
s _m	1E+03	2E+04	s _b
r ²	0,99996	2E+04	s _y

$$\text{Como } v = \lambda f$$

$$v = \frac{\partial \pi l}{\phi} \cdot f \Leftrightarrow f = \frac{v}{\partial \pi l}$$

$$u = \frac{v}{\partial \pi l} = \partial \pi l u = v$$

$$u^2(v) = \left(\frac{\partial v}{\partial u} \right)^2 u^2(u) + \left(\frac{\partial v}{\partial l} \right)^2 u^2(l)$$

$$\Leftrightarrow u(v) = \sqrt{(\partial \pi l)^2 u^2(u)}$$

$$\begin{aligned} \bullet \sqrt{v_{\text{experimental}}} &= 1,89344 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \\ \bullet u(v_{\text{exp}}) &= 4 \times 10^5 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

$$\sqrt{v_{\text{exp}}} = (1,893 \pm 0,006) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$u(\%) (v_{\text{exp}}) = 0,30\%$$

$$\text{Erro (\%)} = 4\%$$

Resultados:

1.2.2 -

$$Z_C = (49,8 \pm 0,2) \Omega$$

Erro(%)ab = 0,4%.

1.2.3 -

a)

$$\alpha = (3,3 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ dBm}^{-1}$$

$\mu(\alpha)(\%) = 0,4\%$.

Erro(%) = (não é possível calcular)

$$\sqrt{= 1,863636 \times 10^8}$$

Erro(%) $\sqrt{= 5,71\%}$

b)

$$V_{exp} = (1,893 \pm 0,006) \times 10^8 \text{ mS}^{-1}$$

$\mu(V_{exp}) = 0,3\%$.

Erro(%) = 4,0%.

$$\mu(V_{exp}) = 4 \times 10^{-5}$$

Conclusão:

Na primeira parte da atividade tentámos verificar valor do coeficiente de reflexão para casos de curto-circuito e circuito aberto. Percebemos que os sinais refletido e incidente não têm a mesma amplitude. Logo não foi possível verificar os valores de r .

Este acontecimento dá-se possivelmente devido ao facto do sinal refletido percorrer uma distância.

Conseguimos através de um ajuste polinomial obter o valor da impedância característica, Z_C .

Na segunda parte determinámos α , o coeficiente de atenuação e a velocidade de propagação de fase tendo o primeiro um erro reduzido e o segundo um erro maior tendo sido possivelmente causado por erros sistemáticos.

Na última parte obtivemos o valor da velocidade de propagação de sinal numa liilha coaxial.