

17

Relatório - Estudo da transmissão por cabo coaxial

Afonso Maria Estriga Couto

Junho 2023

Falhas básicas e obras
na estrutura do trabalho
(numeros eq. e figuras, erros de escrita
de expoentes, legendas figuras e eventualmente
tabelas)



Figure 1: fcup

Resumo

Nesta atividade foi usado um cabo coaxial RG-58. Foi calculada a sua impedância característica com um erro de 2% (por excesso) em comparação com o valor do fabricante, e uma incerteza de 2%. Em relação ao coeficiente de atenuação do cabo determinado, corresponde ao esperado, de acordo com o fabricante, e vem com uma incerteza de 2,1%. A velocidade de fase vem acompanhada com um erro de 6%, comparando com o valor teórico calculado (tendo em conta o polietileno de que é feito o cabo), e uma incerteza de 6×10^{-15} %. Por fim, a velocidade de propagação do sinal teve um erro de 4% e uma incerteza de 0.1%. Entre os valores de velocidade de fase e o de propagação existe um erro de 2%. Daí, conclui-se que as velocidades são praticamente iguais, como seria de esperar. De resto, todos os resultados foram positivos e compatíveis com o estudo do equipamento em causa.

10^{-5}
.....

2 Introdução

2.1 Estudo da amplitude do impulso refletido, em função da impedância da carga ligada à linha coaxial, $V_r(Z_L)$

- a) Determinar o valor da impedância da carga ligada à linha, $Z_L = Z_c$, para o qual a amplitude do impulso refletido $V_r(Z_L) = 0$.
- b) Verificar que em linha aberta ($Z_L \rightarrow \infty$), $\Gamma_L = 1$
- c) Verificar que em curto-circuito ($Z_L = 0$), $\Gamma_L = 1$.

2.2 Determinação da constante de atenuação α e da velocidade v de propagação de fase na linha coaxial

- a) A partir da medição das amplitudes V_n de uma sequência de n impulsos reflectidos e das correspondentes distâncias d percorridas pelo sinal, calcula-se α
- b) De seguida para calcular v , registam-se os instantes t_n a que ocorrem as amplitudes V_n , e tem-se $V_n(t)$.

2.3 Determinação da velocidade de propagação de sinal v numa linha coaxial, variando a frequência do sinal à entrada

- registar f , variar entre kHz e 10 MHz
- registar diferença de fase entre sinal de entrada e sinal refletido.

Um cabo coaxial trata-se de uma linha de transmissão, normalmente formado por dois condutores cilíndricos (que têm o mesmo eixo), um deles é filiforme e

Numerar questões! / ← falta importante

tem um raio menor que o outro. Está presente entre os mesmos um material dielétrico (polietileno, por exemplo). Para estudarmos este tipo de linha de transmissão, usa-se: Onde V_i é referente à onda incidente e V_r é a onda re-

$$V(z, t) = V_1 e^{\alpha z} e^{j(\omega t + kz)} + V_2 e^{-\alpha z} e^{j(\omega t - kz)} = V_r(z, t) + V_i(z, t)$$

fletida. Estas ondas sofrem uma diminuição da amplitude com a propagação (atenuação). $k = 2\pi/\lambda$, k é o nº de onda do sinal.

Tem-se uma fonte de tensão E , de impedância interna Z_o que alimenta uma linha de transmissão de comprimento l , que por sua vez também está ligada a uma impedância de carga Z_L . O coeficiente de reflexão, onde se encontra a carga, dá-se por:

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

$Z_c = V_i/I_i$ é a impedância característica da linha de transmissão. Esta é a equação que relaciona a reflexão do sinal com a descontinuidade do meio onde este se propaga. Variando Z_L varia-se a forma como o sinal é refletido na

$$V_r = \frac{Z_L - Z_c}{Z_L + Z_c} V_i$$

impedância:

$Z_L < Z_c \rightarrow \Gamma_L < 0$ - há inversão do sinal da onda da tensão refletida;

$Z_L > Z_c \rightarrow \Gamma_L > 0$ - a onda da tensão refletida mantém o sinal da onda incidente;

$Z_L = 0 \rightarrow \Gamma_L = -1$ (curto-circuito) - a onda da tensão refletida inverte o sinal e apresenta a mesma amplitude da onda incidente;

$Z_L \rightarrow \infty \rightarrow \Gamma_L \approx 1$ (linha aberta) - a onda da tensão refletida mantém o sinal e a mesma amplitude da onda incidente;

$Z_L \rightarrow \Gamma_L = 0$ - não há reflexão na extremidade da carga ($V_r = 0$); Permite calcular impedância característica da linha.

Para a extremidade da impedância interna da fonte, tem-se: Para o coe-

$$\Gamma_0 = \frac{Z_o - Z_c}{Z_o + Z_c}$$

← m! eq?

ficiente de atenuação da linha de transmissão, faz-se o seguinte - impedância de carga muito elevada ($Z_L \gg Z_c$) na extremidade da linha de transmissão, ou seja, nessa extremidade haverá praticamente uma reflexão total da onda de tensão. Apenas haverá reflexão da onda na impedância da fonte de tensão, 0 . Lança-se um impulso pela fonte de tensão e será refletido totalmente na outra extremidade, e o sinal obtido logo a seguir será a referência, V_0 . De seguida, o impulso percorrerá a linha, até refletir na impedância da fonte e voltar a percorrer toda a linha até chegar à impedância de carga (referência). Com o

$$V_n = \Gamma_0^n e^{-2n\alpha l} V_0$$

$$\ln(V_n) = [\ln(\Gamma_0) - 2\alpha l]n + \ln(V_0)$$

logaritmo:

Conhecendo Γ_0 e analisando $\ln(V_n)$ em função de n , é fácil determinar α através do declive da relação entre as duas grandezas ($m = \ln(\Gamma_0) - 2\alpha l$). Usando este procedimento, também é possível calcular a velocidade de fase do impulso a propagar-se na linha, com t_n , e os picos V_n , tomando como referência $t_0 = 0$. Logo: $d_n = 2nl$ é a distância percorrida pelo impulso desde t_0 até à extremidade

$$v = \frac{d_n}{t_n - t_0}$$

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

$$2nl = v t_n$$

da carga pela x vez. Também é possível determinar a velocidade pelo declive. Na terceira parte, quer-se a velocidade de propagação da onda de tensão com a frequência, e da diferença de fase entre a onda à entrada e à saída do cabo. Tendo a onda à entrada uma fase ϕ_0 e a onda à saída uma fase ϕ_1 , podemos relacionar a diferença de fase com o número de onda k : $\delta\phi = \phi_1 - \phi_0$ e $\lambda = l$,

$$k = \frac{\Delta\Phi}{\Delta x}$$

Sabendo que k é o quociente entre 2π e λ :

$$\lambda = \frac{2\pi l}{\Delta\Phi}$$

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

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

Velocidade é calculada através do declive entre f e $\delta\phi$.

3 ~~Procedimento~~ experimental

3.1 Material utilizado

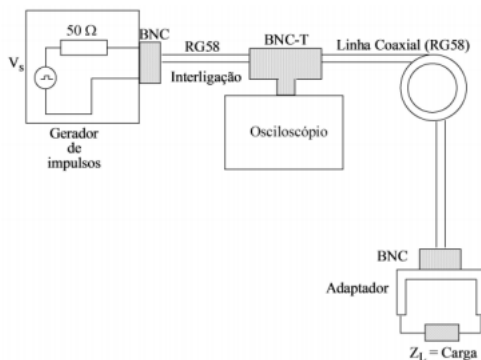
- Gerador de impulsos (com fonte de alimentação anexa): período $\approx 5 \mu s$, largura dos impulsos a meia altura 200 ns, resistência interna comutável 50 Ω ou 600 Ω , saída coaxial BNC.

NOTA: faltam as eq^s de propagação (em anexo, p.ex.) de incertezas!

- Gerador sinusoidal - Resistência interna 50Ω e saída coaxial BNC.
- Linha coaxial - cabo coaxial RG58, comprimento $l = (61, 50 \pm 0.05) \text{ m}$, condutores em cobre estanhado (diâmetro interno $a = 0,90 \text{ mm}$), dielétrico polietileno (diâmetro externo $b = 2,95 \text{ mm}$), revestimento externo PVC, impedância característica 50Ω , capacidade 100 pF/m , atenuação $\leq 0,02 \text{ dB/m}$.
- Osciloscópio, com dupla base de tempo.
- Caixa de resistências, que se liga à terminação 1 da linha coaxial
- Adaptador de impedâncias, que se liga à terminação 2 da linha coaxial

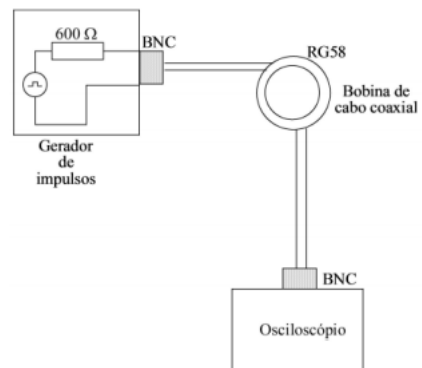
3.2 Montagem

1ª Parte: $V_r(Z_L)$



- Escolher a impedância interna do gerador de impulsos com $Z_o = 50 \Omega$, de modo que não haja reflexão do impulso na extremidade da linha associada à fonte;
- Esperar um pouco enquanto os aparelhos eletrônicos aquecem;
- Registrar resultados no osciloscópio quando $Z_L = 0$, curto-circuito, e quando $Z_L \rightarrow \infty$ (remover o adaptador da caixa de resistências, ficando em contacto com o ar), linha aberta;
- Fazer um varrimento numa gama ampla de impedâncias de carga, comprovando situações descritas acima, e verificar que o valor da impedância característica é aproximadamente 50Ω ;
- Retirar uma gama de dados mais densa em torno do valor estimado para Z_c .

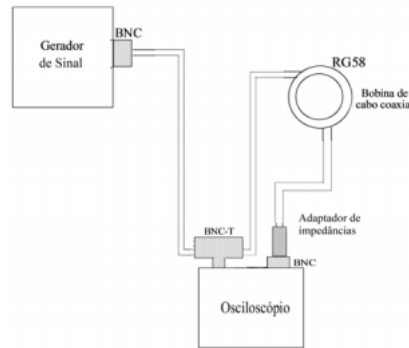
2ª Parte: Determinação de α e de v



- A impedância do osciloscópio é muito elevada, $Z = 1\text{M}\Omega$, portanto há praticamente reflexão total na extremidade da linha onde está o osciloscópio que, também faz a leitura dos sucessivos impulsos refletidos na outra extremidade.
- Escolher a impedância interna do gerador de impulsos com $Z_0 = 600\ \Omega$, de modo que não haja reflexão do impulso na extremidade da linha associada à fonte;
- Ajustar cursores no osciloscópio para que o primeiro cursor da tensão esteja no zero da tensão do primeiro pico, e o primeiro cursor do tempo esteja fixo no instante do mesmo pico, V_0 ;
- Usar os outros cursores para medir os valores de t_n e V_n , tendo como referência os primeiros.



3ª Parte: Determinação de v a partir do estudo de f em função de $\Delta\phi$



- Passar para o gerador sinusoidal;
- Ligar um conector BNC-T ao canal 1 do osciloscópio e ligar ao canal 2 a outra extremidade do cabo;
- Ajustar escala do osciloscópio, colocando um cursor como referência no zero da tensão alinhar com esse o sinal de entrada e o sinal de saída da linha;
- Começar com uma frequência elevada ($f = 10$ MHz) e diminuir até os sinais estarem em fase e anotar os valores de f e de $\Delta\phi$;
- Continuar o processo diminuindo a frequência até encontrar situações em que os sinais estão em fase ou em anti-fase.

4 Dados e análise

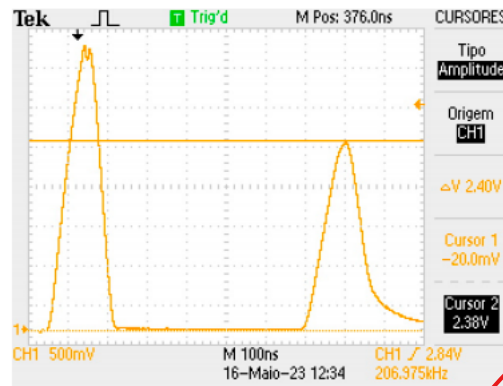
4.1 1ª Parte

Em primeiro lugar, serão analisados: linha aberta e curto-circuito. Linha aberta ($Z_L \rightarrow \infty$) Para estudar em linha aberta manteve-se o adaptador de impedâncias, em contacto com o ar - sem estar inserido na caixa de resistências - e observou-se o seguinte. O primeiro pico corresponde ao impulso de tensão que entra no cabo coaxial e que percorre toda a linha até ser refletido na outra extremidade. O segundo pico é o impulso que já foi refletido e chega novamente à extremidade do cabo ligada ao osciloscópio. Os dois impulsos, obviamente, têm o mesmo sinal. No entanto, os dois picos não têm a mesma altura, têm valores de tensão diferentes:

$$V_{in}(z = 0) = (3,58 \pm 0,05) \text{ V}$$

$$V_r(z = 0) = (2,40 \pm 0,05) \text{ V}$$

Nota-se bem a atenuação do impulso que percorreu o cabo, pela diferença dos dois picos.



Falta otimizar as escalas p/ leitura c/ cursores

Curto-circuito ($Z_L = 0$)

Para o estudo desta situação colocou-se o cabo com o adaptador conectado à caixa de resistências, com todos os botões no zero. Aqui temos a imagem no osciloscópio: Existe inversão total do impulso refletido, como era previsto.

onde? sem n.º de figura torna-se confuso!

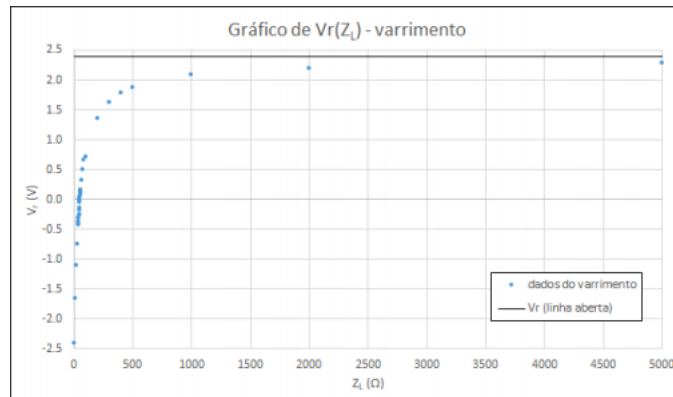


Além disso, repare-se onde? que o impulso refletido volta a ter uma amplitude muito menor do que o impulso incidente:

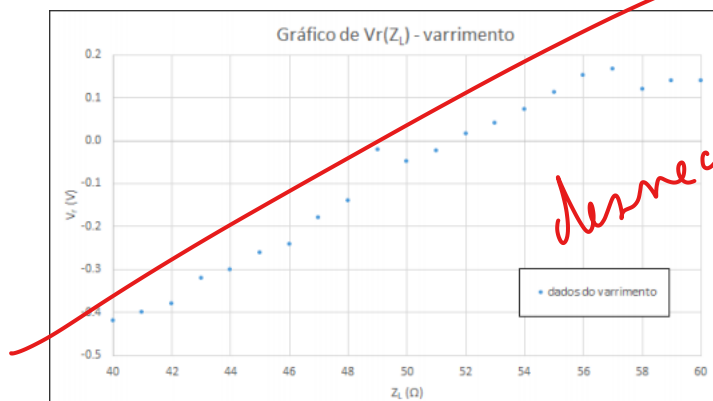
$$V_r(z = 0) = (-2, 40 \pm 0, 05) \text{ V}$$

De notar que o valor em módulo do pico refletido no curto-circuito, é exatamente o mesmo que o valor do pico refletido na situação de linha-aberta, o que confirma a aproximação $\Gamma_L \approx 1$ para a linha aberta. Determinação de Z_c . Em primeiro lugar fez-se um varrimento numa gama mais ampla de impedância - $Z_L \in [0, 5000] \Omega$ - anotando-se também o valor de V_r , de onde se retirou uma maior densidade de pontos próximo ao valor crítico ($Z_L = 50 \Omega$), para se comprovar que o gráfico de V_r em função de Z_L cruza o eixo horizontal (correspondente a $V_r = 0$) num ponto próximo desse valor crítico. Pelo gráfico, temos valores negativos da tensão do sinal refletido, quando Z_L é menor que o valor de Z_c e temos valores positivos quando Z_L o ultrapassa. Quando Z_L cresce muito mais do que Z_c , o valor de V_r tende para o valor medido em linha aberta. Em relação

Falta o perfil de V_r em função de Z_L para o que observa na vizinhança de Z_c



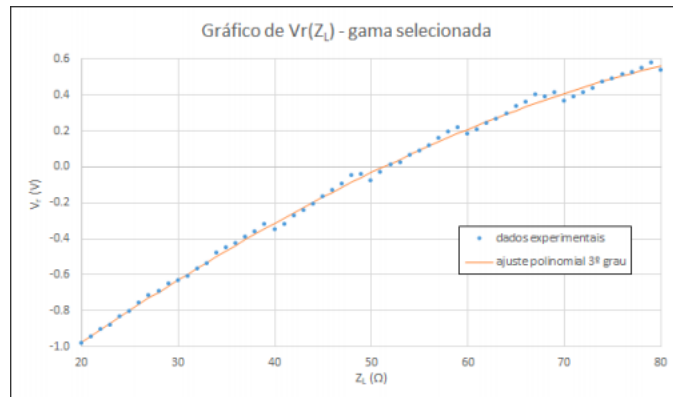
aos dados retirados perto do valor crítico, restringimos a gama para $Z_L \in [40; 60] \Omega$. Pelos dados, o valor da impedância característica do cabo é próxima de



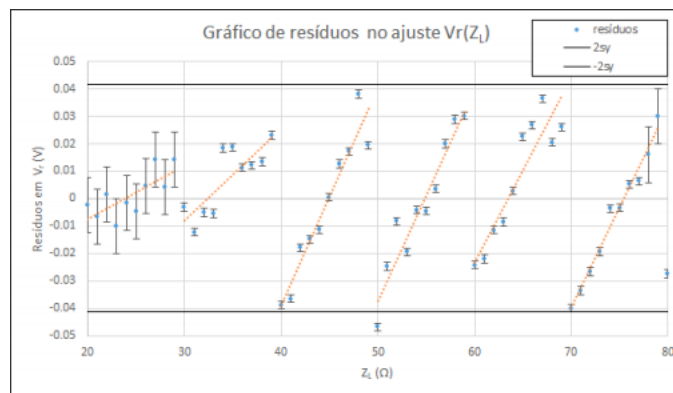
50 Ω , uma vez que o gráfico parece intersear o eixo correspondente a $V_r = 0$, aí. Para termos uma melhor ideia do valor de V_r mais próximo de zero, ocorreu quando $Z_L = 51 \Omega$ ($V_r = 0,02V$). Depois, recolheram-se pontos numa gama mais ampla - $Z_L \in [20; 80] \Omega$: Vê-se pequenas quebras ao longo de toda a gama. Estes "degraus" ocorrem sempre para impedâncias múltiplas de 10 Ω , correspondendo à mudança no botão das dezenas da caixa de resistências. Este comportamento também foi comprovado por outros grupos de trabalho que utilizaram o mesmo material. No laboratório realizámos uma experiência onde se alterava o valor das dezenas, mantendo as unidades no zero. O resultado obtido foi que para cada valor das dezenas, a resistência lida no ohmímetro foi sempre inferior (1 ou 2 Ω) à resistência escolhida nos botões da caixa. Para determinar o valor de Z_c fez-se um ajuste polinomial de 3º grau: Os valores de V_r foram calculados a partir deste ajuste e estão representados no gráfico anterior. Os resíduos resultantes deste ajuste foram representados graficamente (barras de incerteza $u(V_r)$). A forma dos resíduos relaciona-se com as quebras no gráfico

*Mão reafirmar
p/ os restantes
valores se o erro
se mantinha?*

onde?



Ajuste polinomial de 3.º grau				
	a_3	a_2	a_1	a_0
Valor	-5×10^{-7}	$-1,2 \times 10^{-4}$	0,042	-1,76
Incerteza	6×10^{-7}	9×10^{-5}	0,004	0,07
R^2	0,9981			
sy	0,02			



quando se altera as dezenas da caixa. Um ponto encontra-se fora do intervalo $[-2sy, 2sy]$, porém, no entanto, como está muito perto dos restantes, não foi denominado como um ponto duvidoso pois continua perto dos restantes resíduos. Z_c , é o zero da função polinomial do ajuste.

$$Z_{cexp.} = (51 \pm 1) \Omega$$

Erro percentual relativo $\epsilon(\%) = 2\%$, $Z_{cref} = 50 \Omega$ e uma incerteza relativa $u(\%) = 2\%$

4.2 ~~2ª~~ Parte

Determinação do coeficiente de atenuação, α

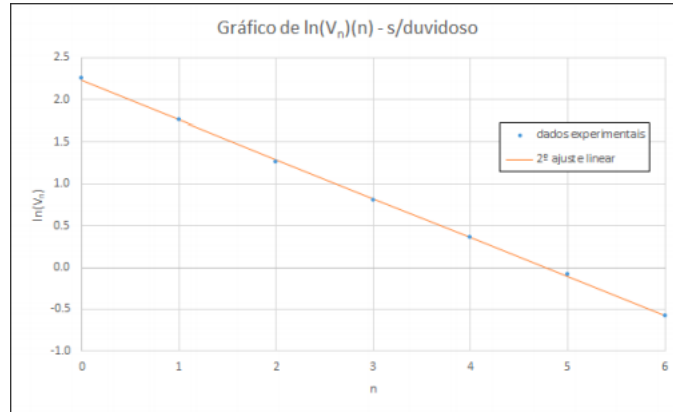
Mediu-se a amplitude dos picos que apareciam no osciloscópio, sendo que eram no total 8 picos (1 do sinal incidente e 7 dos refletidos) e a partir do 8º

título → apresentá-lo como tal

⊗ Falta perfil observado c/ indicação da "linha de zero"

impulso, a amplitude do impulso refletido já era muito baixa, e o pico estava praticamente irreconhecível. Para determinar o coeficiente de reflexão foi usado o valor de Z_c experimental (impedância interna referência do gerador, $Z_o = 600 \Omega$).

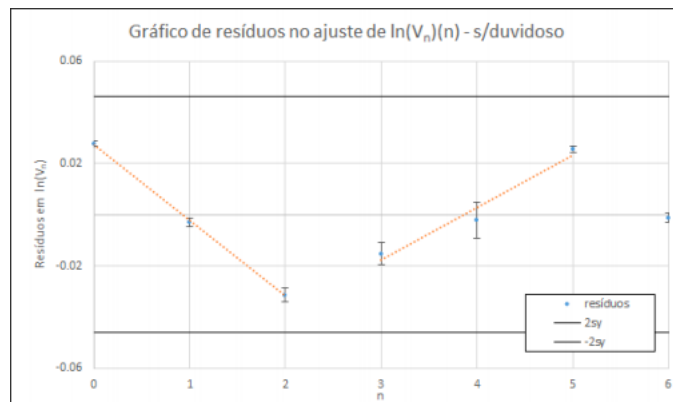
$\Gamma_0 = 0,843 \pm 0,004$ que vem com um erro de $\epsilon(\%) = 0.4\%$ e uma incerteza relativa $u(\%) = 0,4\%$. Passando para o gráfico de $\ln(V_n)$ em função de n :



No primeiro ajuste do gráfico apareceu um ponto duvidoso, no último ponto, pelo que se removeu pois seria de esperar que não fosse um ponto muito confiável pelo motivo explicado acima (8º ponto).

substituir
pelc evidência
de (*)

Ajuste linear $\ln(V_n)(n) - s/duvidoso$			
m	-0,466	2,23	b
$u(m)$	0,004	0,02	$u(b)$
R^2	0,9996	0,02	sy



Por observação dos resíduos parecem haver duas tendências (crescente e decrescente). Pelos gráficos de resíduos de outros grupos, verificou-se que esta forma é característica. O coeficiente calculado:

$\alpha = (2,40 \pm 0,05) \times \overset{10^3 \text{ mAs}}{\underset{\text{m}^{-1}}{\text{103}}} \text{ dB m}^{-1}$

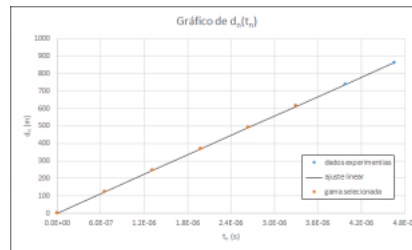
Incerteza relativa de $u(\%) = 2,1\%$.

Não é possível calcular o erro relativo percentual mas verifica-se a conformidade com a especificação do cabo.

título! apresentá-lo como tal

Determinação da velocidade de fase, v

Medimos os tempos correspondentes aos picos no osciloscópio, t_n , em relação ao primeiro ($n = 0$). Sabendo a distância percorrida pelo sinal no n -ésimo pico relativamente ao primeiro, $d_n = 2nl$, faz-se $d_n(t_n)$. Com a gama completa de



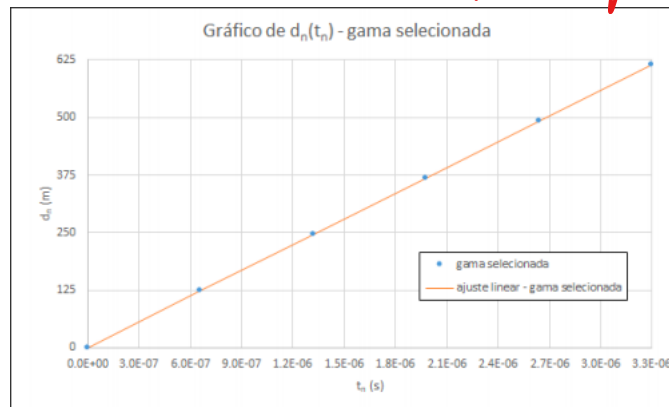
dados recolhidos - $t_n \in [0; 5] \mu s$ - identificaram-se 2 tendências diferentes no gráfico de resíduos: Para $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ ($t_n \in [0; 3, 5] \mu s$) há uma tendência



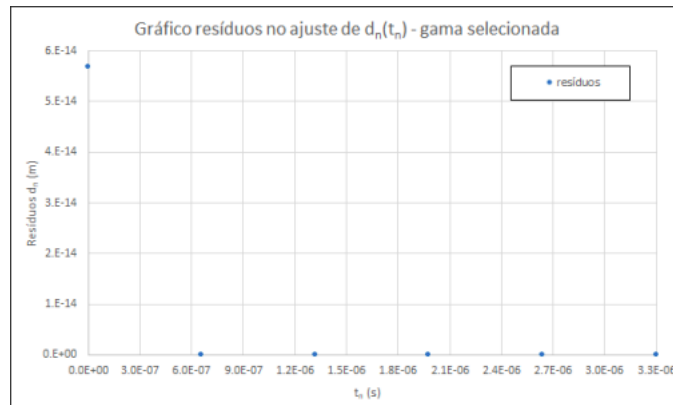
crescente. Os ~~outros~~ dois pontos, podem já não ser tão viáveis pelo que foram descartados e fez-se uma nova análise aos dados.

análises no gráfico da fig...

por apresentarem uma tendência decrescente



Ajuste linear $d_n(t_n)$ - gama selecionada			
m	$1,86363636363600 \times 10^8$	-6×10^{-14}	b
$u(m)$	1×10^{-8}	2×10^{-14}	$u(b)$
R^2	1	3×10^{-14}	sy



O resultado foi bastante positivo, visto que, os resíduos são nulos (ultrapassando o limite do computador, 15 casas decimais), à exceção do primeiro, mas que não deixa de estar muito próximo dos outros. A matriz por si só mostra a "perfeição" do ajuste linear.

Polietileno:

$\epsilon = 2,3$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{12} \text{ Fm}^{-1}$, $\mu \approx \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$, $v_{ref} = 1,98 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Obteve-se:

$vf = (1,86363636363600 \pm 0,0000000000000001) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Erro de $\epsilon(\%) = 6\%$ e uma incerteza percentual relativa de $u(\%) = 6 \times 10^{15}\%$.

A incerteza relativa é baixíssima devido à qualidade do ajuste. O erro não é muito elevado, mas mostra a presença de um erro sistemático, por exemplo, o cabo pode já estar demasiado gasto e danificado.

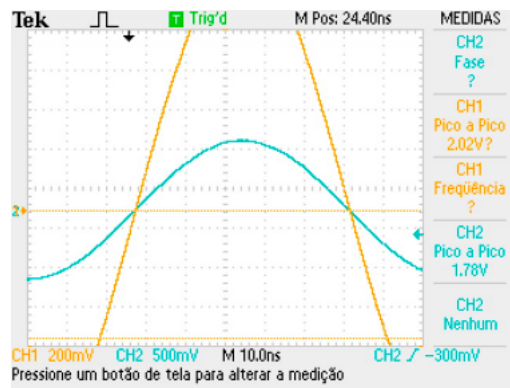
4.3. 3ª Parte

Determinação da velocidade de propagação de um sinal sinusoidal, v

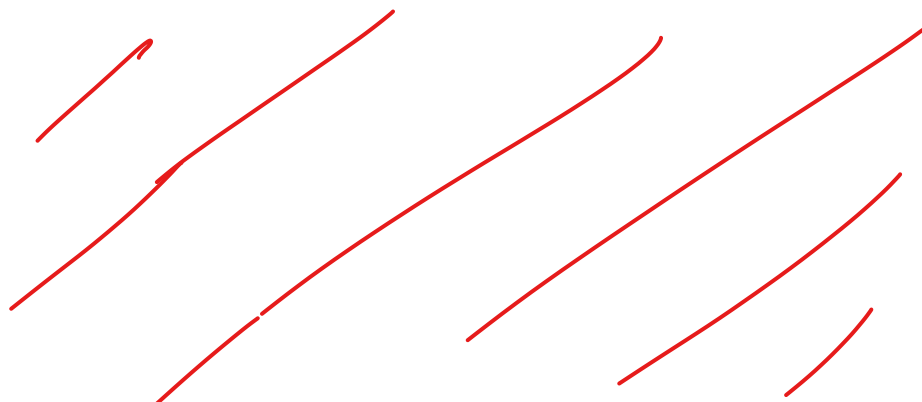
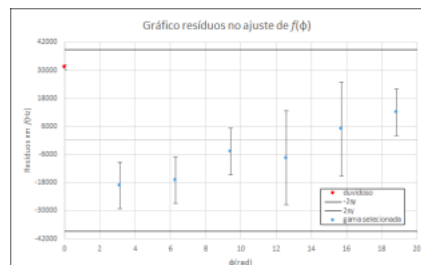
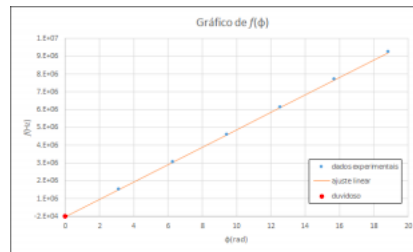
O objetivo seria que este valor que vamos calcular fosse igual ao calculado anteriormente, pelo que iremos usar o mesmo valor de referência,

$v_{ref} = 1,98 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Registaram-se os valores de f , correspondentes a estados de fase ($\phi = 0, 2, 4, \dots$) e de anti-fase ($\phi = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$), entre o sinal de entrada e de saída no cabo coaxial (canal 1 e 2, respetivamente). Aqui temos um exemplo de uma medição feita em laboratório, com os sinais em fase. Para cada situação, registaram-se dois valores de frequência lidos no ecrã do gerador de sinais, para os sinais em fase ou anti-fase. O primeiro ponto era obviamente duvidoso, já que estava

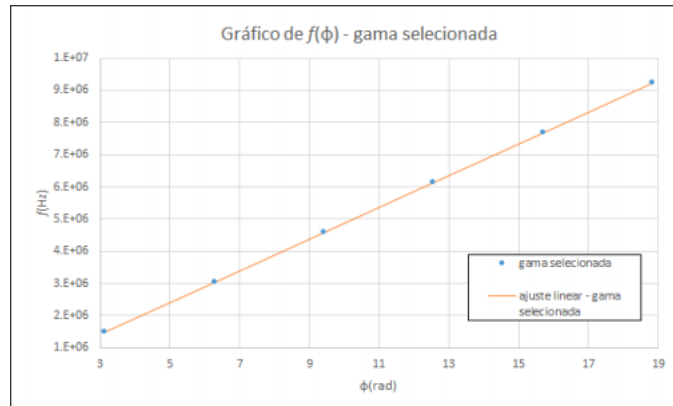


completamente fora da tendência dos outros todos pelo que foi removido.

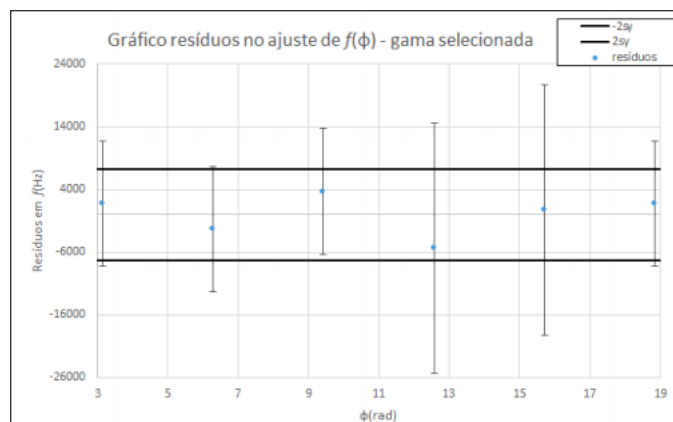


Aminu

~~Após isso, temos uma gama com $f \in [1; 9, 3]$ MHz: Ora, não existem pontos~~



Ajuste linear $f(\Phi)$ - gama selecionada			
m	$4,915 \times 10^5$	$-5,1 \times 10^4$	b
$u(m)$	3×10^2	2×10^3	$u(b)$
R^2	0.999999	4×10^3	sy



~~duvidosos, o que reforça a qualidade do ajuste linear dos dados selecionados.~~

Como os resíduos estão espalhados sem uma particular tendência, os erros serão maioritariamente aleatórios. v será dado então pelo declive do ajuste:

$$v = (1,899 \pm 0,002) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

Erro $\epsilon(\%) = 4\%$ e uma incerteza relativa $u(\%) = 0.1\%$. Comparando este erro e o da velocidade de fase, este é um pouco inferior, mas em termos de incerteza relativa este fica muito aquém em relação ao anterior. Calculou-se o erro percentual da velocidade de propagação do sinal harmónico em relação à velocidade de fase:

$$\epsilon(\%) = 2\%$$

5 Resultados finais

5.1 ~~1ª Parte~~

- $Z_c = (51 \pm 1) \Omega$
- $\text{Erro}(\%) = 2 \%$
- $\text{Incerteza}(\%) = 2 \%$

5.2 ~~2ª Parte~~

- $\alpha = (2,40 \pm 0,05) \times 10^{-3} \text{ dB m}^{-1}$
- $\text{Incerteza}(\%) = 2,1 \%$
- $v_f = (1,8636363636363600 \pm 0,0000000000000001) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
- $\text{Erro}(\%) = 6 \%$
- $\text{Incerteza}(\%) = 6 \times 10^{-15} \%$

5.3 ~~3ª Parte~~

- $v = (1,899 \pm 0,002) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
- $\text{Erro}(\%) = 4 \%$
- $\text{Incerteza}(\%) = 0,1 \%$
- $\text{Erro}(\%) = 2\%$ (em relação a v_f)

6 Conclusão

~~Na 1ª parte da experiência~~ Verificámos o comportamento de um impulso de tensão quando $Z_L = 0 \Omega$, acontecendo reflexão total com inversão do sinal. Também concluímos que quando $Z_L \rightarrow \infty$, observou-se reflexão total sem inversão do sinal. A impedância característica da linha é dada por $Z_c = (51 \pm 1) \Omega$ com $\text{Erro}(\%) = 2 \%$ em comparação com $Z_{cref} = 50 \Omega$ e $\text{Incerteza}(\%) = 2 \%$. Resultados bastante satisfatórios.

~~Na 2ª parte da experiência~~ *no cálculo do* calculámos o valor do coeficiente de atenuação, $\alpha = (2,40 \pm 0,05) \times 10^{-3} \text{ dB m}^{-1}$ com $\text{Incerteza}(\%) = 2,1 \%$, coincidente com a indicação do fabricante (α é menor que $0,02 \text{ dB m}^{-1}$). Comparado com outros grupos, o valor α está de acordo com a norma. Calculámos também a velocidade de fase de um impulso que se propaga na linha, $v_f = (1,8636363636363600 \pm 0,0000000000000001) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ com $\text{Erro}(\%) = 6 \%$ e $\text{Incerteza}(\%) = 6 \times 10^{-15} \%$, por isso, o grau de confiança é elevadíssimo mas não muito exato devido talvez a algum dano no cabo coaxial.

Na terceira parte da experiência calculou-se o valor da velocidade de propagação de um sinal sinusoidal no cabo coaxial, $v = (1,899 \pm 0,002) \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$, Erro(%) = 4 % e Incerteza(%) = 0,1 %. O resultado obtido foi bastante positivo e comparado com o valor da velocidade de fase, apresenta uma diferença de apenas 2%. Concluindo, a experiência foi bem executada e produziu resultados positivos para o estudo da linha de transmissão em causa.

o que evidencia a qualidade excelente do

uma diferença

de

o o o

7 ~~Bibliografia~~

- Protocolo relativo à experiência
- Logbooks e relatórios de outros grupos disponibilizados no moodle, desta experiência, após a correção dos mesmos
- Documentos referentes à cadeira de Eletrônica
- D.J.Griffiths. Introduction to Eletrodynamics.

Referências c/ indicação
específica de "qual é"
usada onde "no
texto."