

Experimento 7

Linha de transmissão

Analisar transporte de tensões
elétricas em linhas de transmissão

Velocidade de propagação

Gerador de onda quadrada

Osciloscópio

Cabos coaxiais BNC (50Ω)

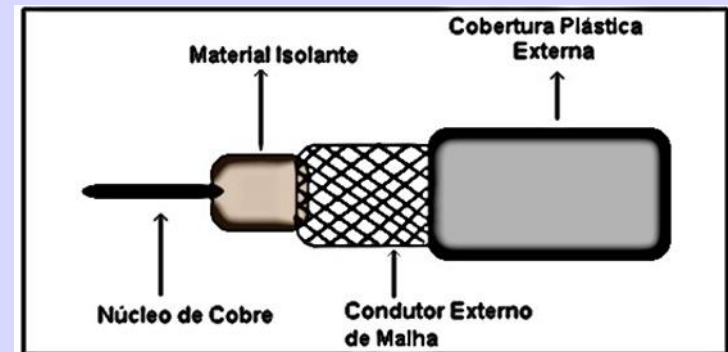
30m, 40m, 50 m, 2 x 0,5m

Conectores BNC

Tipo T

Terminador em curto

Terminador carga resistiva (50Ω)



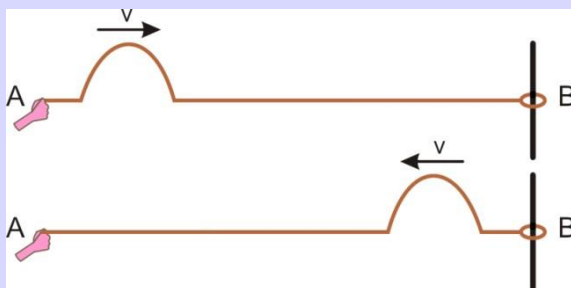
O que acontece no transporte
de energia em linhas de
transmissão?

Linhas de transmissão

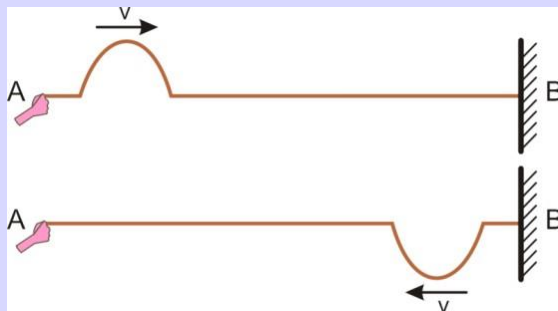
Propagação de pulsos de tensão em meios físicos

Analogia com ondas mecânicas

Extremidade solta



Extremidade fixa



Go to www.menti.com and use the code 69 40 08 1

Assumindo que a amplitude do pulso seja A , qual a amplitude da onda no ponto B para as duas situações?

Mentimeter

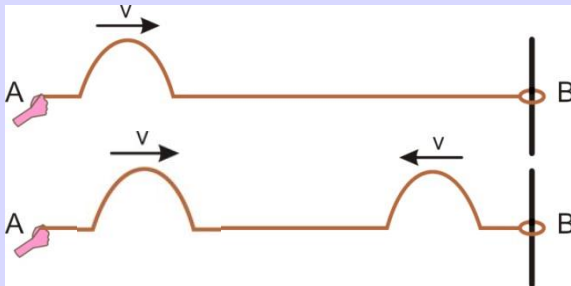
0	0	0	0
A / -A	A / 0	2A / 0	2A / -A

Linhas de transmissão

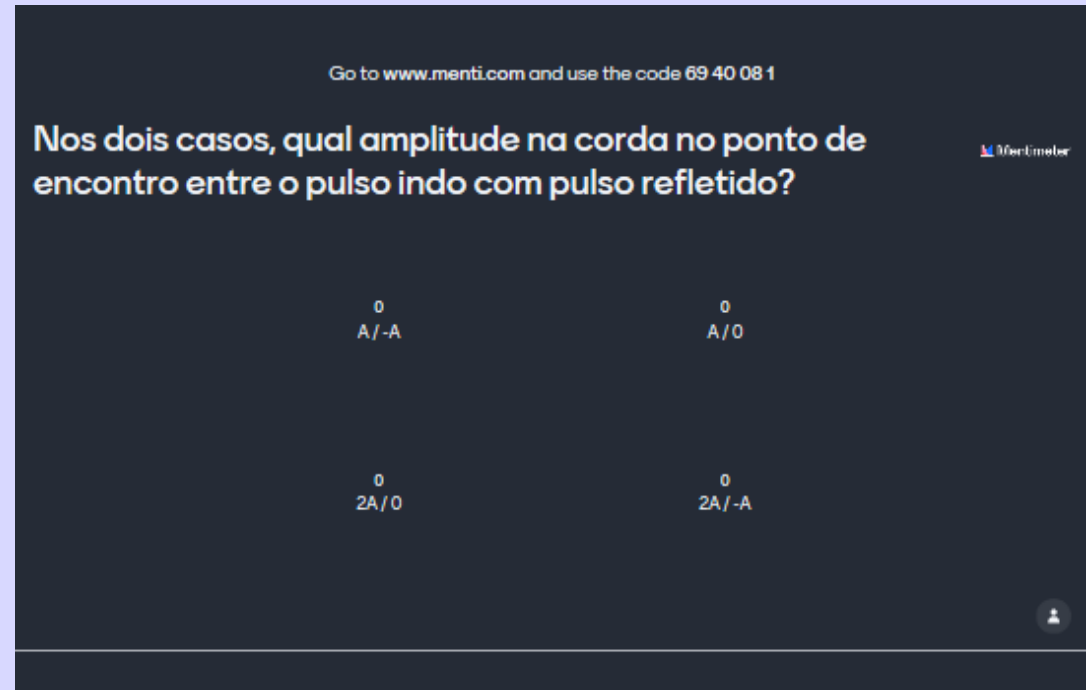
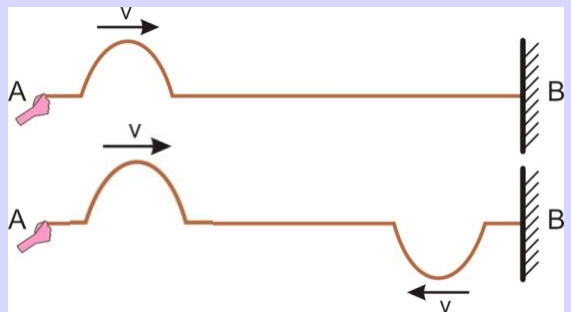
Analogia com ondas mecânicas (vários pulsos)

Forma depende do instante medido

Extremidade solta



Extremidade fixa



Velocidade de propagação constante
Duas direções

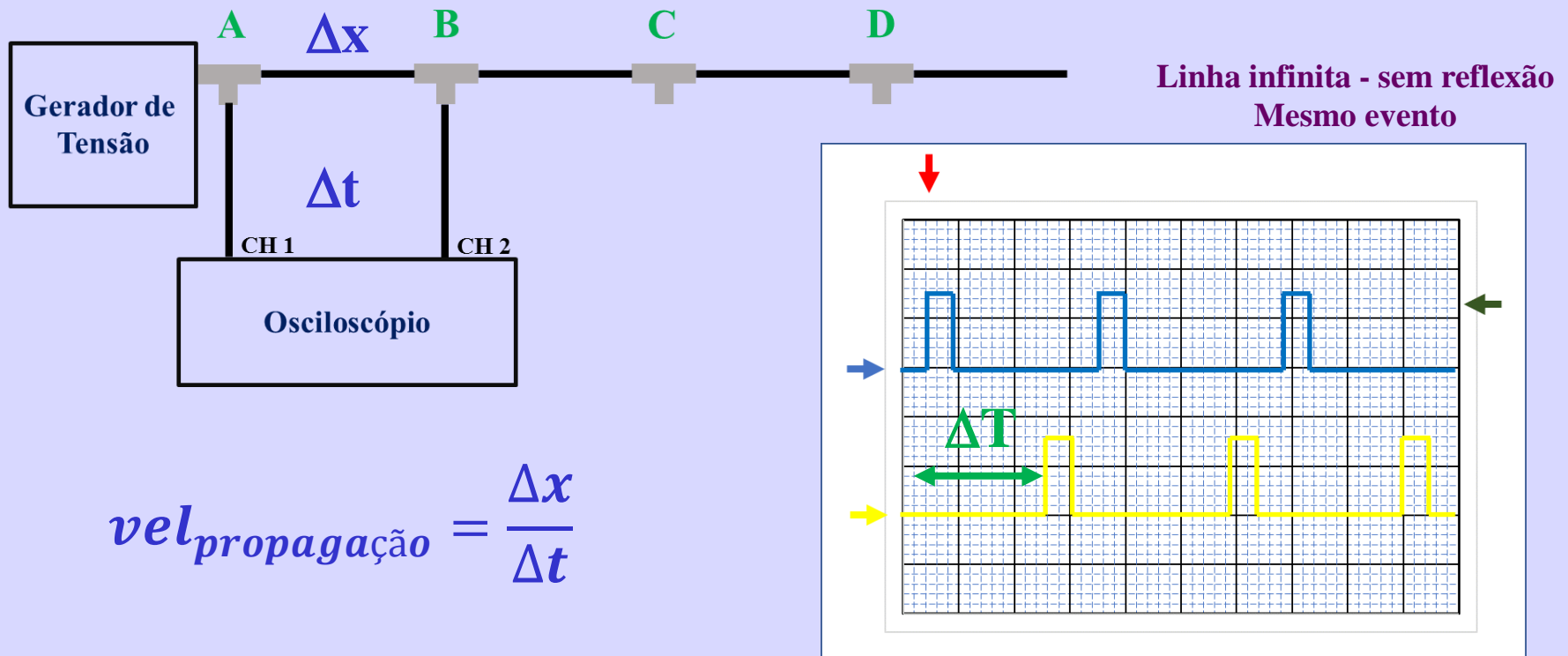
Linhas de transmissão

Propagação de pulsos de tensão

Pulsos de tensão com uma determinada frequência

Como medir velocidade de propagação?

Intervalo de tempo para uma determinada distância



Osciloscópio

Linha finita + acoplamento

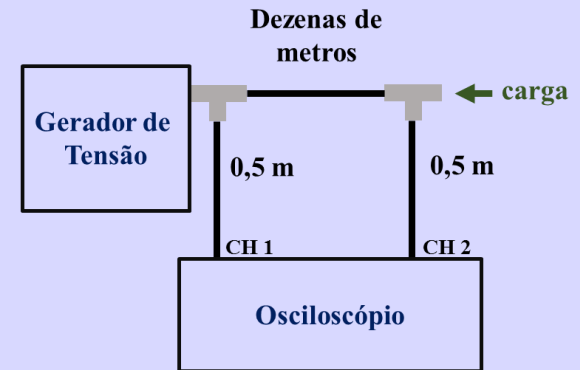
Figura depende do comprimento?

Incidente + refletida

Go to www.menti.com and use the code 45 84 38 1

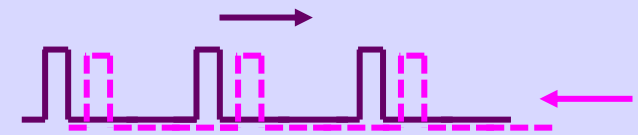
Supondo sempre a mesma carga acoplada a linha, a figura da varredura no canal 1 vai ser sempre igual independente do comprimento do fio? Mentimeter

- Sim
- Não
- Depende do valor da carga

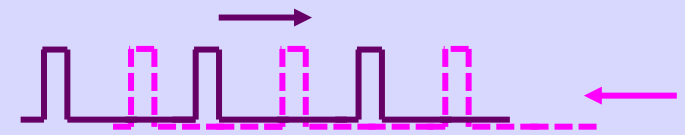


Canal 1

Fio 1



Fio 2 > Fio 1



Problema: identificar o mesmo evento nos dois conjuntos

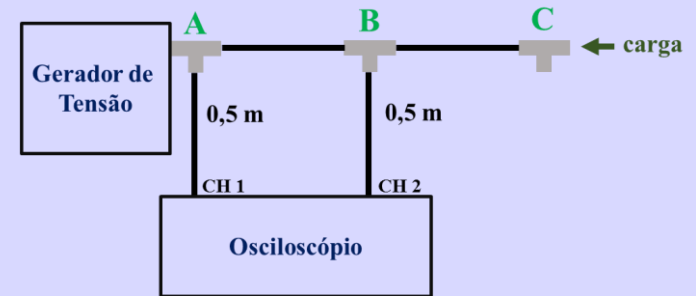
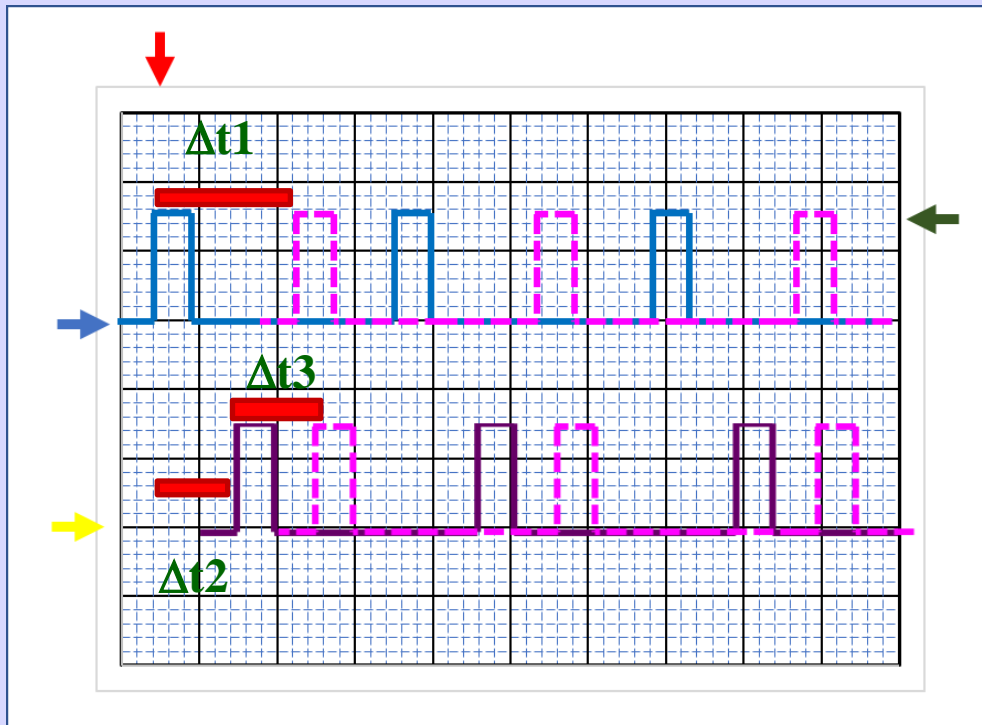
Linhas de transmissão

Identificar a correlação correta

Velocidade cte - Δt depende de Δx

Entre dois pulsos no mesmo canal
(incidente e refletida)

Entre pulsos em canais diferentes



$$\Delta t1 \Rightarrow 2 \Delta X_{A-C}$$

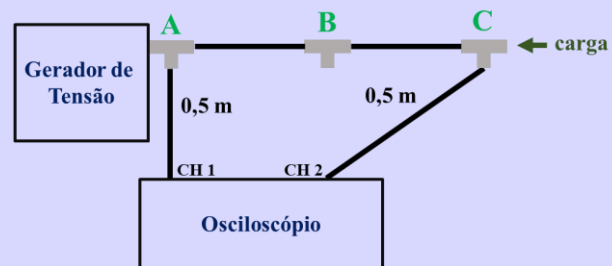
$$\Delta t2 \Rightarrow \Delta X_{A-B}$$

$$\Delta t3 \Rightarrow 2 \Delta X_{B-C}$$

Linhas de transmissão

Conectando CH 2 no final da linha de transmissão

Paralelo com a carga (conectado em C)



Go to www.menti.com and use the code 45 84 38 1

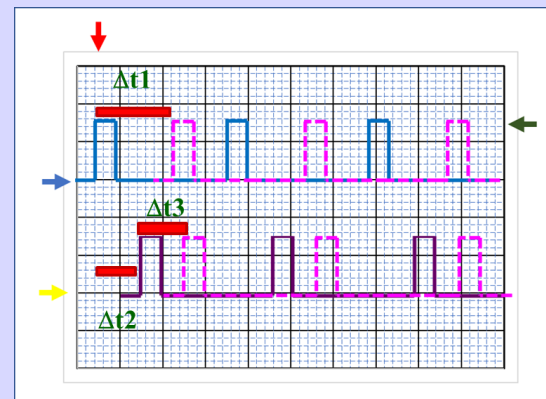
Supondo sempre a mesma carga acoplada a linha, a figura da varredura no canal 2 vai ser sempre igual independente do comprimento do fio?

Mentimeter

● Sim

● Não

● Depende do valor da carga



$$\Delta t1 \Rightarrow 2 \Delta X_{A-C}$$

$$\Delta t2 \Rightarrow \Delta X_{A-C}$$

$$\Delta t3 \Rightarrow 0$$

Linhas de transmissão

Nossas condições de medidas

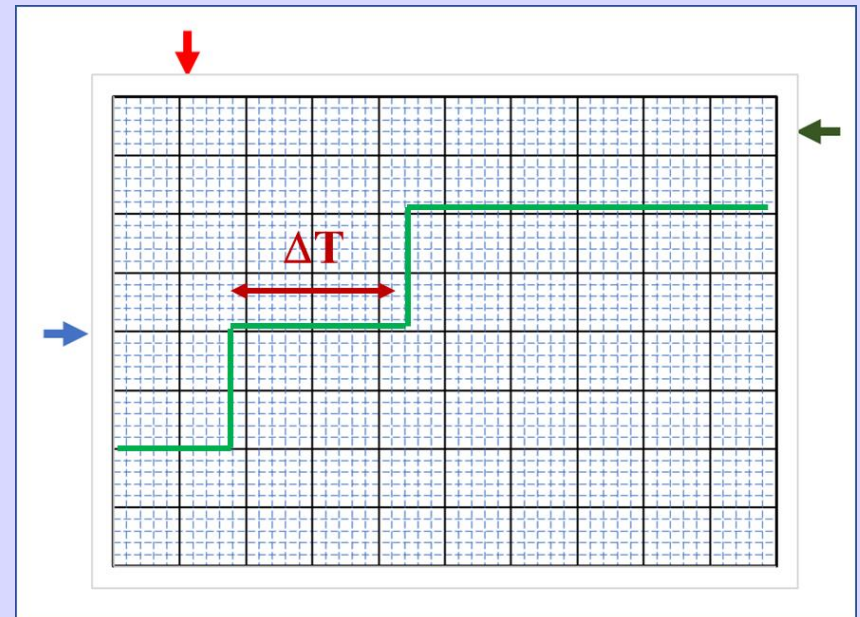
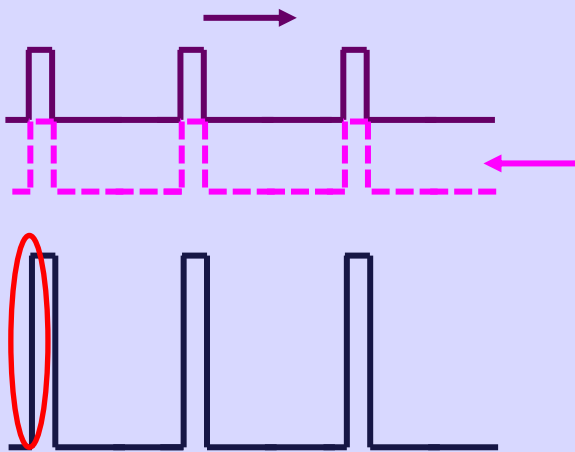
Frequência da onda quadrada ~ kHz

Largura do pulso da ordem de 100's μs

Velocidade de propagação esperada – 0,66 c (~20 cm/ns)

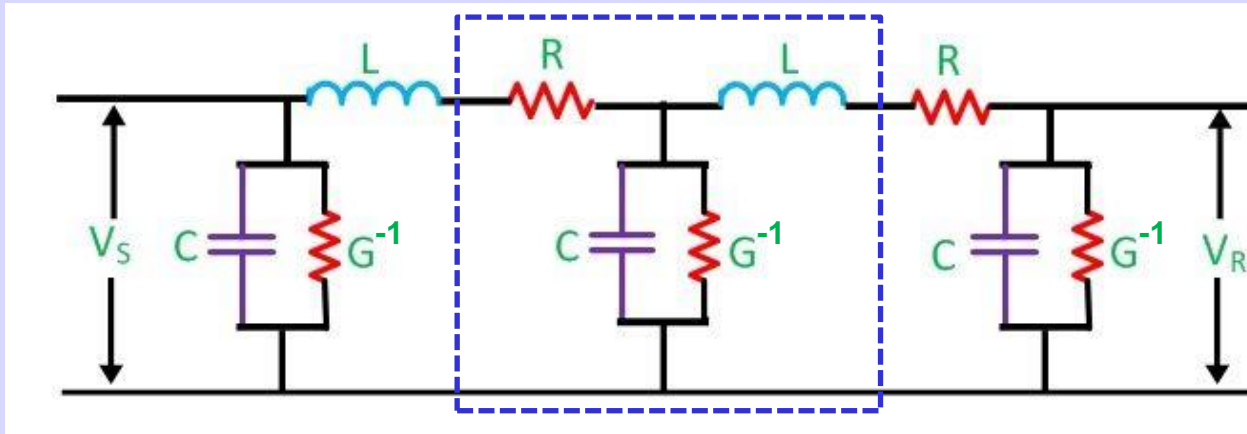
1000 ns para cabos de 200 m

\ll largura do pulso



Linhas de transmissão

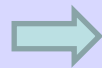
Dedução forma da onda final



Equações de contorno

$$V_i - R \Delta Z I - L \Delta Z \frac{\partial I}{\partial t} - V_R = 0$$

$$I_i - G \Delta Z V_r - C \Delta Z \frac{\partial V}{\partial t} - I_R = 0$$



$$\frac{\partial^2 V(z, t)}{\partial z^2} - (R + j\omega L)(G + j\omega C) V(z, t) = 0$$

$$\frac{\partial^2 I(z, t)}{\partial z^2} - (R + j\omega L)(G + j\omega C) I(z, t) = 0$$

Velocidade de propagação

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

Solução das ondas

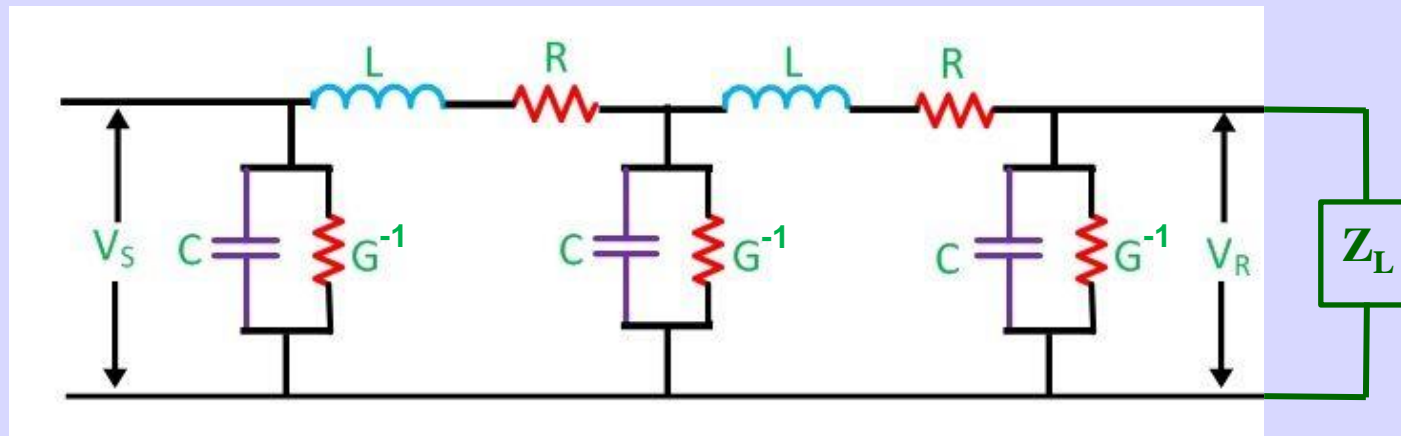
$$V_z = V_0^+ e^{-\gamma t} + V_0^- e^{\gamma t}$$

Linhas de transmissão

Acoplamento da linha com a carga

Depende da impedância da linha de transmissão

Cabo coaxial do experimento 50Ω



Impedância da linha

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Onda refletida

$$V_0^- = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} V_0^+$$

$$Z_L \gg Z_0 \quad V_0^- = V_0^+$$

$$Z_L = Z_0 \quad V_0^- = 0$$

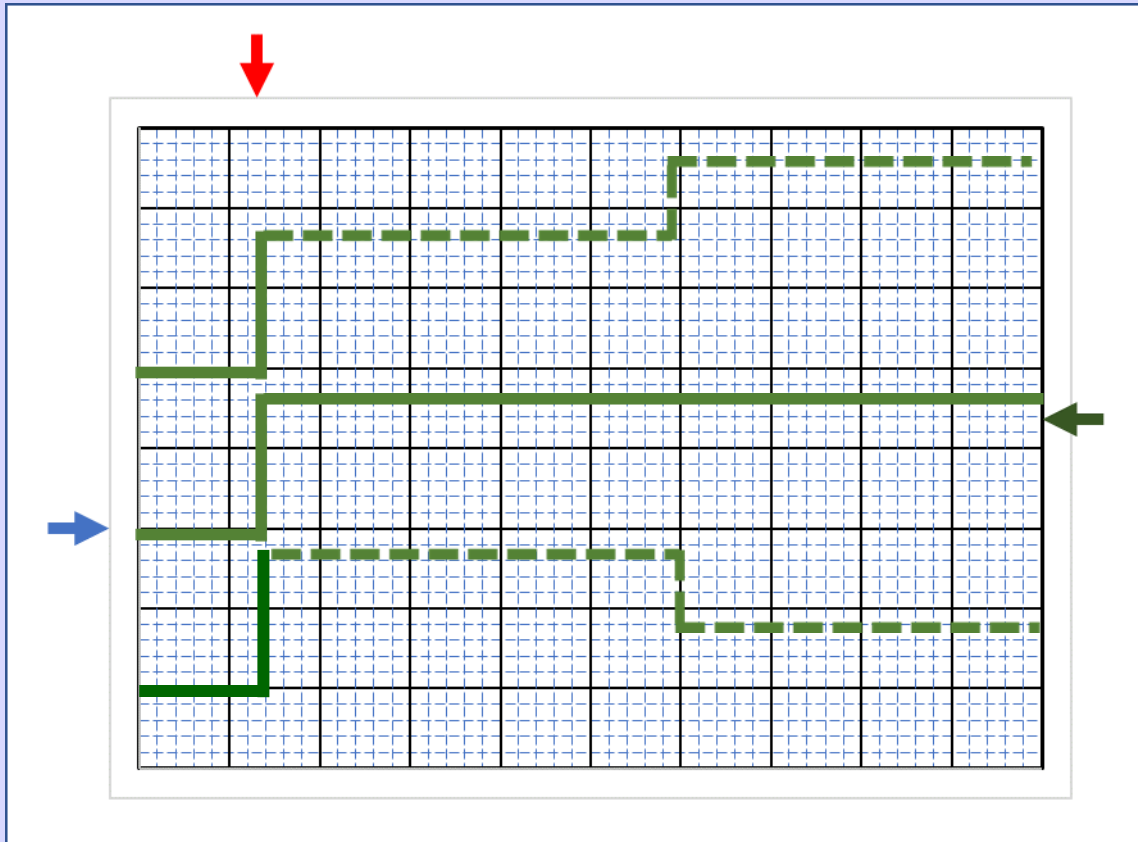
$$Z_L = 0 \quad V_0^- = -V_0^+$$

Linhas de transmissão

Forma da varredura depende do valor da carga

Amplitude da onda (incidente + refletida) depende da carga

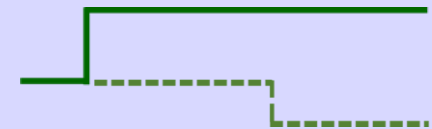
Positiva para $Z_{\text{carga}} > Z_0$ - Negativa para $Z_{\text{carga}} < Z_0$.



$$V_0^- > 0 \quad |V_0^-| < |V_0^+|$$



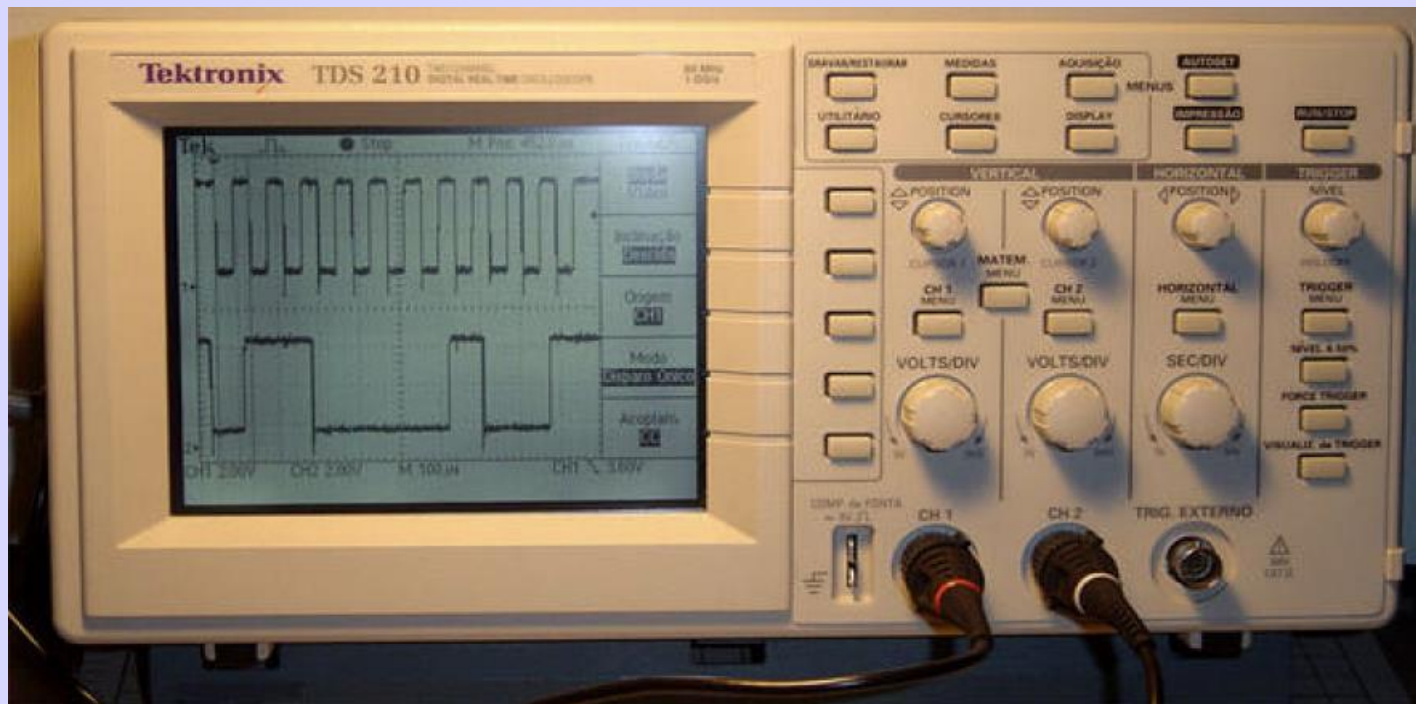
$$V_0^- < 0 \quad |V_0^-| < |V_0^+|$$



Osciloscópio

Amostragem de tensão em função do tempo

Usualmente medidas para tempos pequenos (seg a nseg)

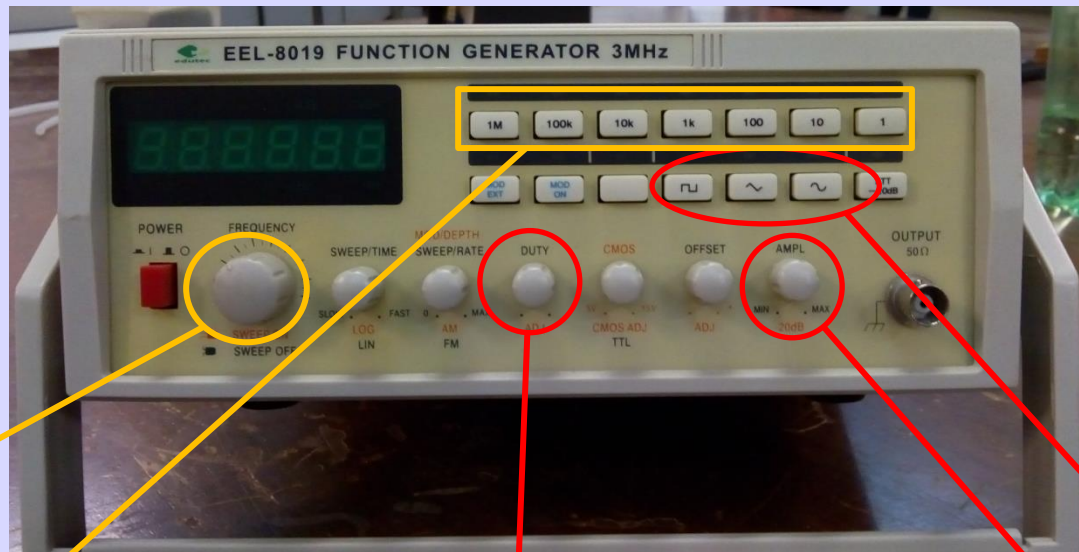
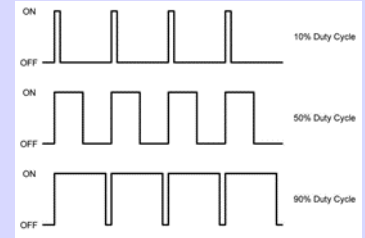


Gerador de onda

Estudar interferência para tempos pequenos

Ondas nas duas direções do cabo

Onda quadrada com “duty cycle”



Ajuste
Frequência

Intervalo

Relação tempo on x tempo off

Altura do sinal de saída

Forma da função

Atividades

Etapa 1

Conhecer os procedimentos de cálculo do experimento

Distâncias e medidas de tempo no osciloscópio

Etapa 2

Desenhar curvas de varredura

Diferentes comprimentos de cabo e terminações da linha

Etapa 3

Obter velocidade de propagação

Gráfico de distância percorrida por intervalo de tempo

Identificar conexões entre osciloscópio e pontos da linha de transmissão

Calcular velocidade de propagação

