



Universidade de São Paulo

Instituto de Física

4323202 Física Experimental B

NOTA
PROFESSOR

Equipe

1)..... No. USP ..... Turma:.....

2)..... No. USP ..... Data:.....

3)..... No. USP ..... Mesa nº:.....

### EXP 3- Linhas de Transmissão (cabos coaxiais)

#### Lista e identificação do material experimental a ser utilizado

Antes de qualquer manipulação, identifique os equipamentos que serão utilizados para a realização da experiência:

- gerador de pulsos ou ondas (AFG 2021) Tektronix;
- osciloscópio;
- linhas de transmissão (cabos coaxiais), em três comprimentos distintos (30, 40 e 50m), com suas respectivas terminações compostas por conectores do tipo BNC;
- dois cabos coaxiais de aproximadamente 1m de comprimento com terminações em conectores BNC;
- conectores BNC do tipo T;
- conector (terminação) BNC ( $50 \Omega$ );
- conector BNC com terminação em curto circuito (conector BNC que apresenta um pino externo);

## Parte 1: Familiarização com os equipamentos

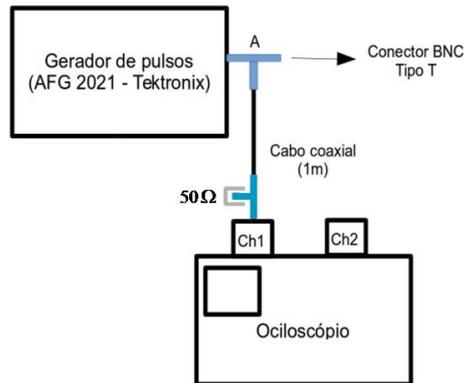


Figura 1. Montagem experimental inicial para teste dos equipamentos. Note a terminação de  $50\Omega$  na entrada do osciloscópio para igualar as impedâncias.

- 1) Utilizando um conector BNC do tipo T, conecte a saída do gerador de pulsos de impedância  $50\Omega$  (ponto A da Figura 1) ao canal de entrada (CH1) do osciloscópio usando um cabo coaxial de 1 metro. Não esqueça da terminação de  $50\Omega$  para casar as impedâncias.
- 2) Ligue o gerador e ajuste-o para fornecer uma onda quadrada com frequência de alguns kHz e amplitude de 10V pico a pico.
- 3) Ligue o osciloscópio e ajuste-o para medidas em escala de tempo de  $1\mu s$  ou  $500ns$  e tensões de 5V por divisão. Neste experimento nos interessa analisar os efeitos da linha de transmissão apenas no tempo de subida da onda. Então ajuste no visor do osciloscópio apenas a parte de subida da onda.
- 4) Prepare o osciloscópio para ser disparado (TRIGGER – MENU) em modo normal com o sinal do canal 1 (CH1) como referência. **(NÃO UTILIZE O BOTÃO AUTOSSET)**
- 5) Anote os valores de trabalho ajustados no gerador e no osciloscópio.
- 6) Faça um esboço da forma de onda observada no osciloscópio no quadro abaixo (“Desconectado”)
- 7) Utilizando conectores BNC do tipo T, conecte em série os três segmentos de cabos coaxiais (de 30, 40 e 50m) fornecidos para formar uma linha de transmissão de 120m). Faça um esboço da forma de onda observada no osciloscópio no quadro abaixo (“Conectado”) nesta situação.

Desconectado

Conectado



## PARTE 2: Medida de tensões e comparação entre sinais obtidos em alguns pontos de uma linha de transmissão, utilizando diferentes condições de terminações

1 ) Com a linha de transmissão conectada ao gerador de sinais (mesma saída do ponto A da Figura 1 – utilizando o conector BNC do tipo T), observe simultaneamente os sinais nos pontos A e D (conforme indica a Figura 2 abaixo). Utilize para isso os dois cabos coaxiais de 1m, indicados na Figura 2 e disponíveis no laboratório, conectados (a partir dos pontos A e D) aos canais 1 (CH1) e 2 (CH2), respectivamente, do osciloscópio.

Segunda montagem experimental (Figura 2):

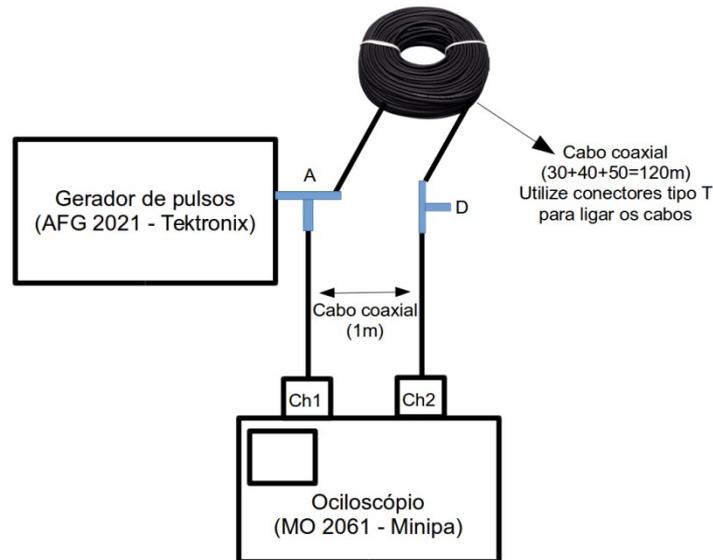


Figura 2. Montagem experimental da linha de transmissão de 120m. Note que a montagem do canal 1 permanece a mesma (canal de referência).

2) Utilizando o ponto A, conectado ao canal 1 (CH1) do osciloscópio, como referência no tempo:

(i) Faça um esboço dos pares de sinais observados (nos pontos A e D). Anote as escalas de tempo e voltagem utilizadas.

(ii) Faça uma medida da tensão pico a pico ( $\Delta V$ ) das duas ondas observadas utilizando a função cursores do osciloscópio. Para obter a incerteza associada a essa medida,  $\sigma_{\Delta V}$ , assumo o valor de um passo de cada cursor.

3) Realize os procedimentos descritos no item 2 para as situações onde:

(i) a extremidade da linha (ponto D) esteja em aberto (desconectada).

(ii) a extremidade da linha (ponto D) esteja em curto circuito (utilizando o conector BNC apropriado).

(iii) a extremidade da linha (ponto D) esteja conectada a uma terminação (conector BNC) de  $50\Omega$ .



Baseado no guia de estudos e na aula teórica COMPARE e EXPLIQUE os sinais observados nos dois pontos de referência (A e D), quanto suas fases, amplitudes e intervalos de tempo entre as ondas, nas três situações de trabalho

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**PARTE 3: Tomada de dados experimentais**

**Determinação da velocidade de propagação da onda no cabo.**

Continuaremos utilizando a última montagem (situação 3 de trabalho), na qual a extremidade da linha de transmissão está conectada a uma terminação (conector BNC) de 50Ω.

1) Varie o comprimento da linha de transmissão ( $\Delta x$ ) e meça o intervalo de tempo entre as ondas através da linha ( $\Delta t$ ). Utilize os cabos de 30, 40 e 50 m fornecidos para construir os comprimentos ( $\Delta x$ ) da linha de transmissão de acordo com a tabela abaixo.

2) Novamente, utilize a função cursor do osciloscópio para realizar a medida de  $\Delta t$  entre os canais. Para obter a incerteza associada a essa medida,  $\sigma_{\Delta t}$ , assuma o valor de um passo de cada cursor.

3) Para determinar a incerteza em  $\Delta x$ , assuma que os cabos coaxiais foram medidos usando uma régua com comprimento de 1 metro. Suponha que uma incerteza de 1 cm seja atribuída a cada medida de comprimento do cabo (da ordem da largura de um dedo). Com base nesta informação, indique na tabela abaixo a incerteza  $\sigma_{\Delta x}$  para cada combinação de cabos utilizada no experimento.

Preencha os dados na tabela abaixo:

$\Delta x$ (cm)	3000	4000	5000	7000	8000	9000	12000
$\Delta t$ (ns)							
$\sigma_{\Delta t}$ (ns)							
$\sigma_{\Delta x}$ (cm)							

**Tratamento dos dados experimentais (utilize um computador para a construção e ajuste do gráfico)**

1) Construa um gráfico de  $\Delta x$  em função de  $\Delta t$ . Não esqueça de colocar título no gráfico, nome e unidade nos eixos.

2) Através do coeficiente angular da reta obtida, determine a velocidade de propagação da onda na linha de transmissão.

**3)** Escreva a velocidade de propagação da onda na linha de transmissão obtida na forma  $(v \pm \Delta v)$  m/s.

### **Análise e discussão dos resultados:**

**Questão 1:** Qual é a razão entre a velocidade de propagação obtida e a velocidade da luz no vácuo? Compare seu resultado com o valor fornecido pelo fabricante, que é  $v = 0.66c$ , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo que é dada por  $c = 2.99792458 \times 10^8$  m/s.

**Questão 2:** Qual é a razão entre a velocidade de propagação obtida e a velocidade de propagação fornecida pelo fabricante?

**Questão 3:** O valor da velocidade de propagação fornecida pelo fabricante está contido no seu intervalo de confiança? Com base nessa análise, você julga seus resultados satisfatórios? Justifique.

**Questão 4:** Sabe-se que o índice de refração "n" de um meio é dado por  $n = c/v$ . Calcule, a partir dos seus resultados, o índice de refração do meio de propagação da onda. Compare seu resultado com o valor fornecido pelo fabricante, que é  $v = 0.66c$ , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo que é dada por  $c = 2.99792458 \times 10^8$  m/s.

**Questão 5:** Supondo que a permeabilidade magnética do material isolante (polietileno) seja igual à do vácuo  $\mu = \mu_0$  e sendo a constante dielétrica  $k$  definida pelo quociente entre as permissividades desse meio e do vácuo  $k = \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0}\right)$ , determine  $k$ , a partir da velocidade de propagação que você mediu. Lembrando que  $v = \left(\frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}\right)$ , onde  $v$  é a velocidade da onda no meio,  $\mu$  é a permeabilidade e  $\epsilon$  é a permissividade do meio, e que no vácuo temos  $c = \left(\frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}\right)$ .

**Questão 6:** O que você espera que aconteça com o valor da velocidade de propagação determinada experimentalmente, caso você utilize uma onda com frequência 5 vezes maior? Verifique experimentalmente e justifique sua resposta.