

Linha de Transmissão

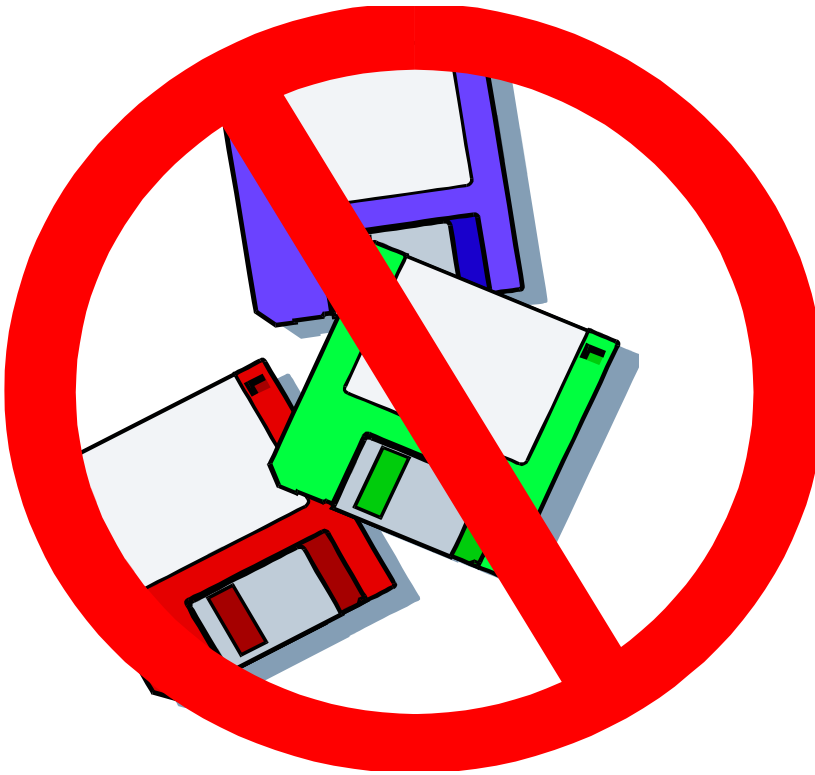
Parte 4

Impedância característica

SEL 310/612 Ondas Eletromagnéticas

Amílcar Careli César
Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP

Atenção!



- ✓ Este material didático é planejado para servir de apoio às aulas de **SEL-310 E SEL-612: Ondas Eletromagnéticas**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de engenharia elétrica e engenharia de computação.
- ✓ Não são permitidas a reprodução e/ou comercialização do material.
- ✓ solicitar autorização ao docente para qualquer tipo de uso distinto daquele para o qual foi planejado.

Impedância característica-1

$$V(z) = V^+ e^{-kz} + V^- e^{+kz} \quad \text{em}$$

$$\frac{dV(z)}{dz} = -ZI(z)$$

$$I(z) = \frac{k}{Z} (V^+ e^{-kz} - V^- e^{kz})$$

$$I(z) = I^+ e^{-kz} - I^- e^{kz}$$

$$\frac{k}{Z} = \frac{\sqrt{ZY}}{Z} = \sqrt{\frac{ZY}{Z^2}} = \sqrt{\frac{Y}{Z}} \equiv \frac{1}{Z_0} \quad \left[\frac{k}{Z} \right] = \text{ohm}^{-1}$$

Impedância característica-2

$$\frac{k}{Z} = \frac{\sqrt{ZY}}{Z} = \sqrt{\frac{ZY}{Z^2}} = \sqrt{\frac{Y}{Z}} \equiv \frac{1}{Z_0}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{Z_s}{Z_p}}$$

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

Aproximação para a Impedância Característica

$$\omega / 2\pi > 100 \text{ kHz}$$

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

$$\omega L \gg R$$

$$\omega C \gg G$$

$$Z_{0,af} \equiv Z_0 \simeq \sqrt{L / C}$$

$$\omega / 2\pi \simeq 1 \text{ kHz}$$

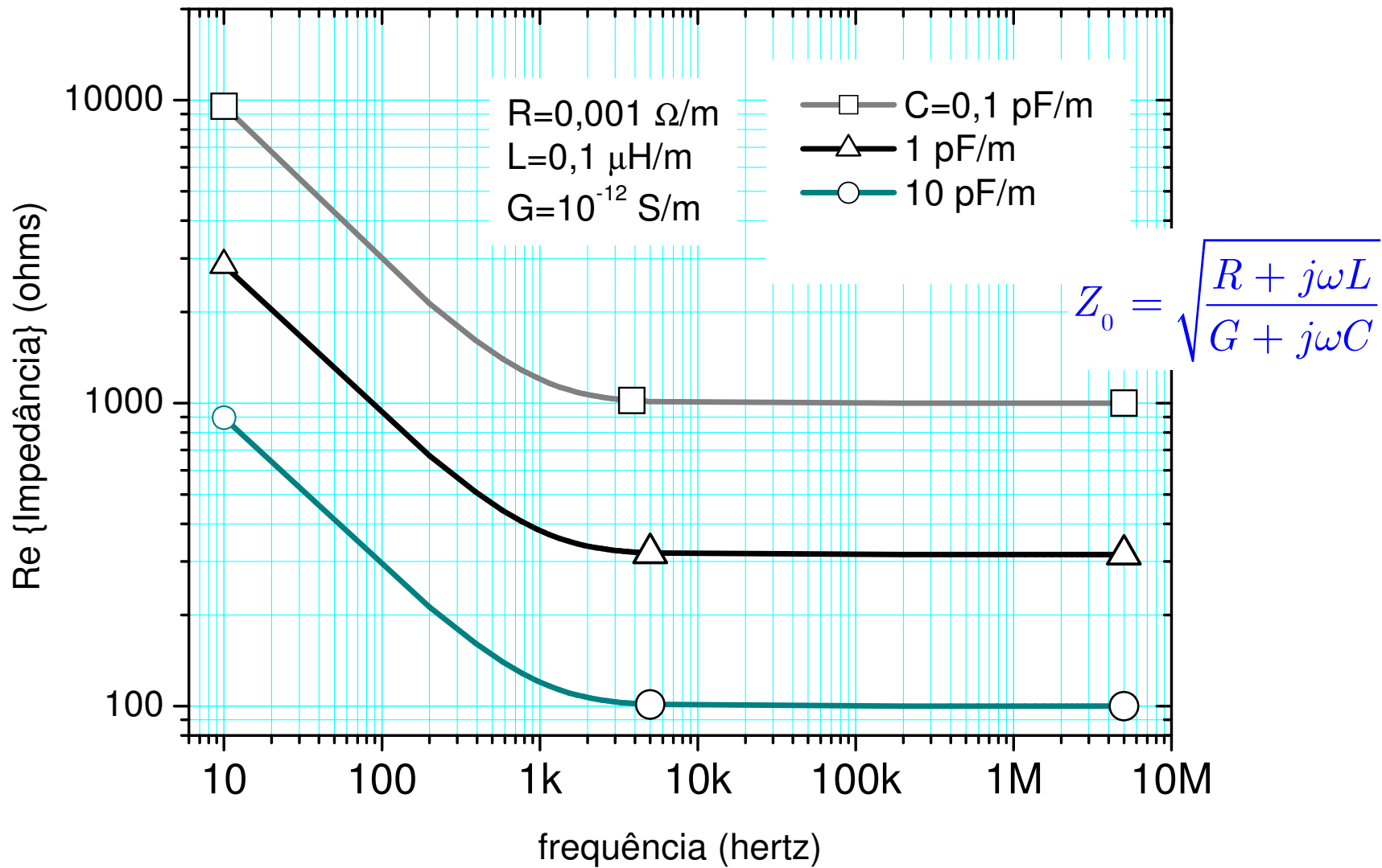
$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

$$\omega L \ll R$$

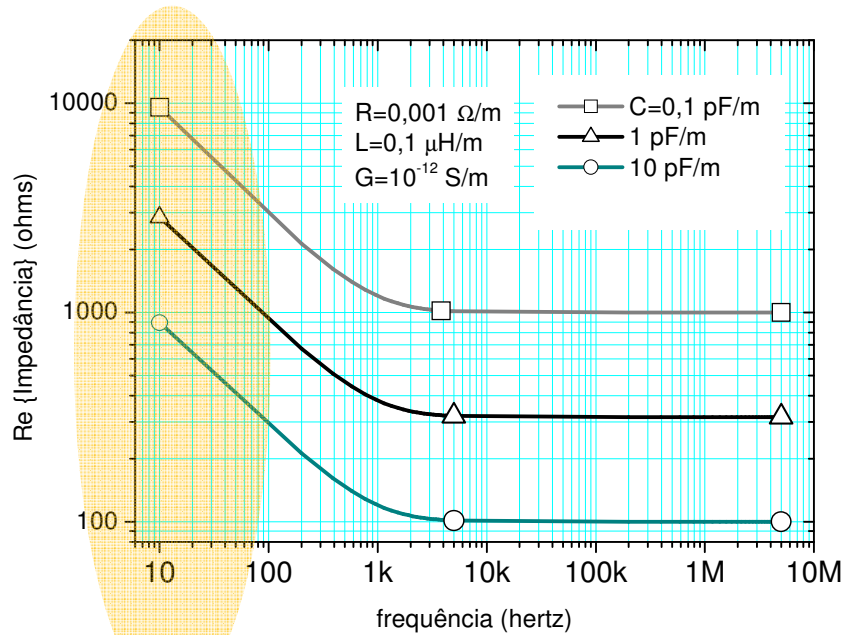
$$\omega C \ll G$$

$$Z_{0,bf} \simeq \sqrt{R / G}$$

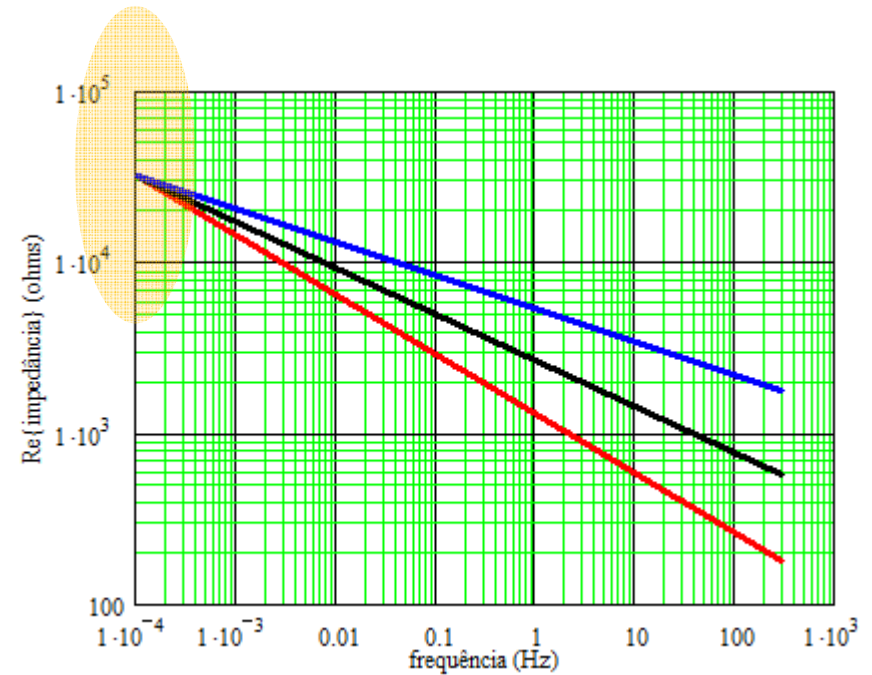
Linha: Variação da Capacitância-1



Linha: Variação da Capacitância-1.1

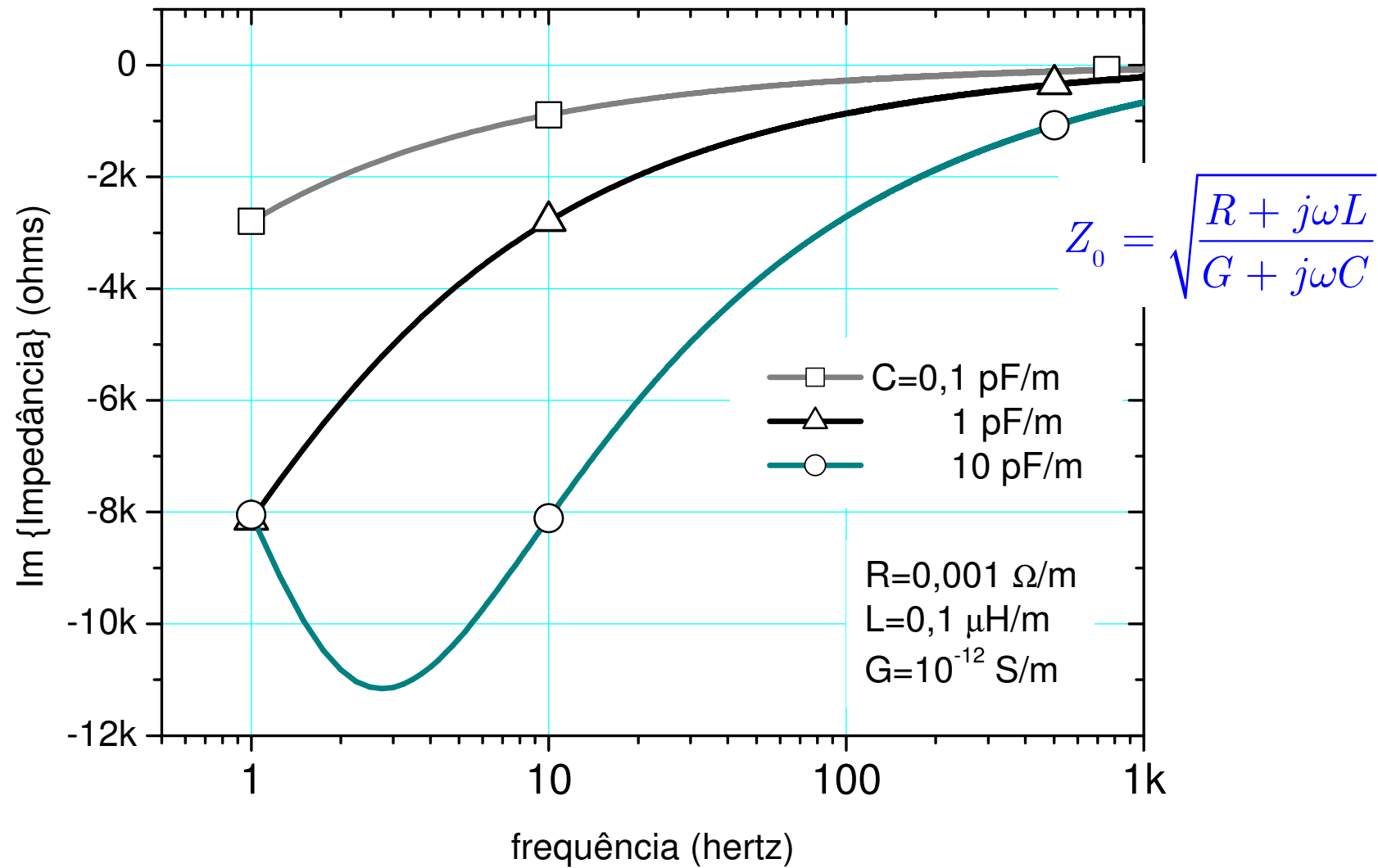


$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

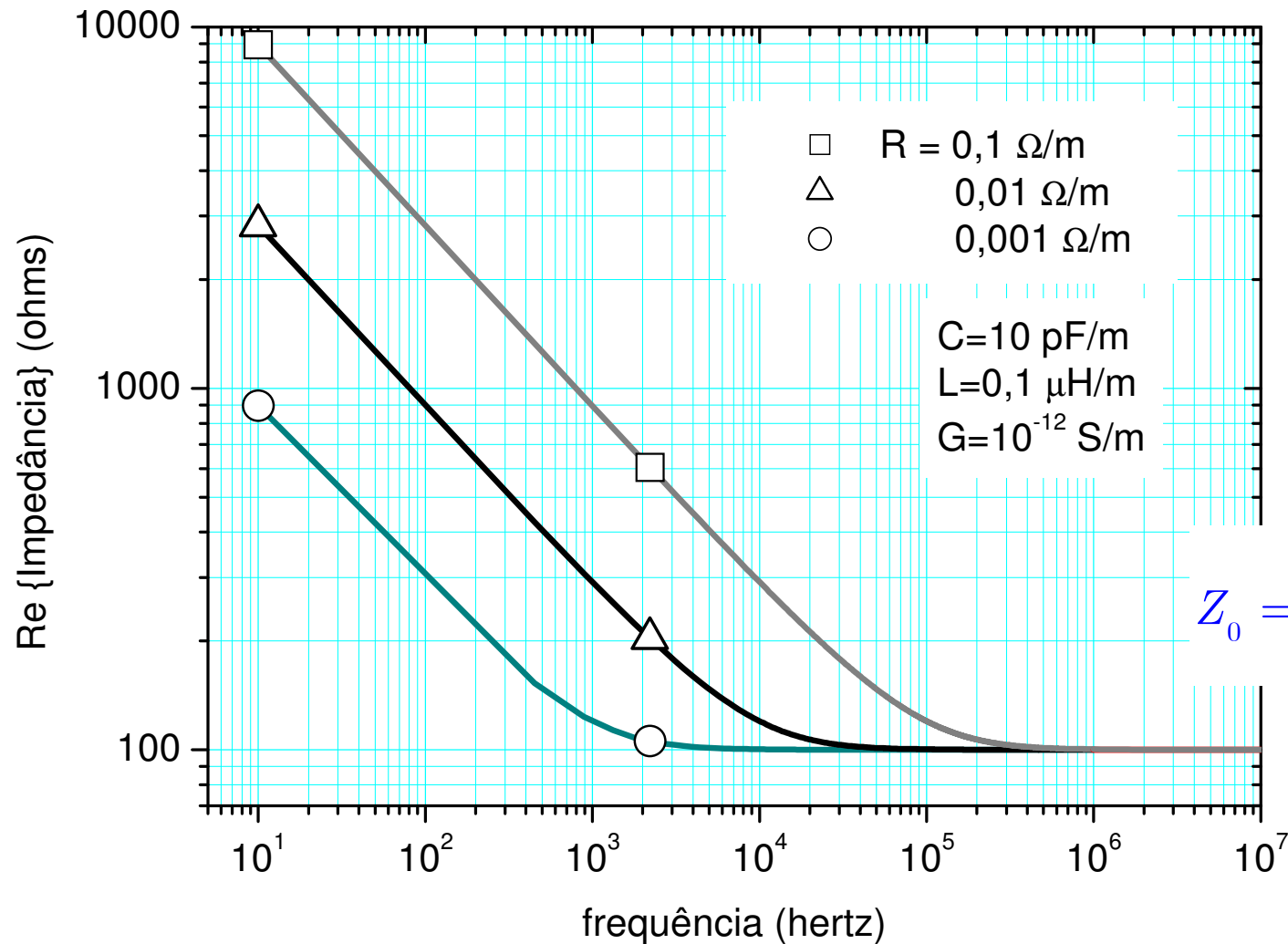


Para frequências muito baixas as curvas tendem a valor comum ($\sqrt{R/G}$). No caso, 31,6 kΩ.

Linha: Variação da Capacitância-2

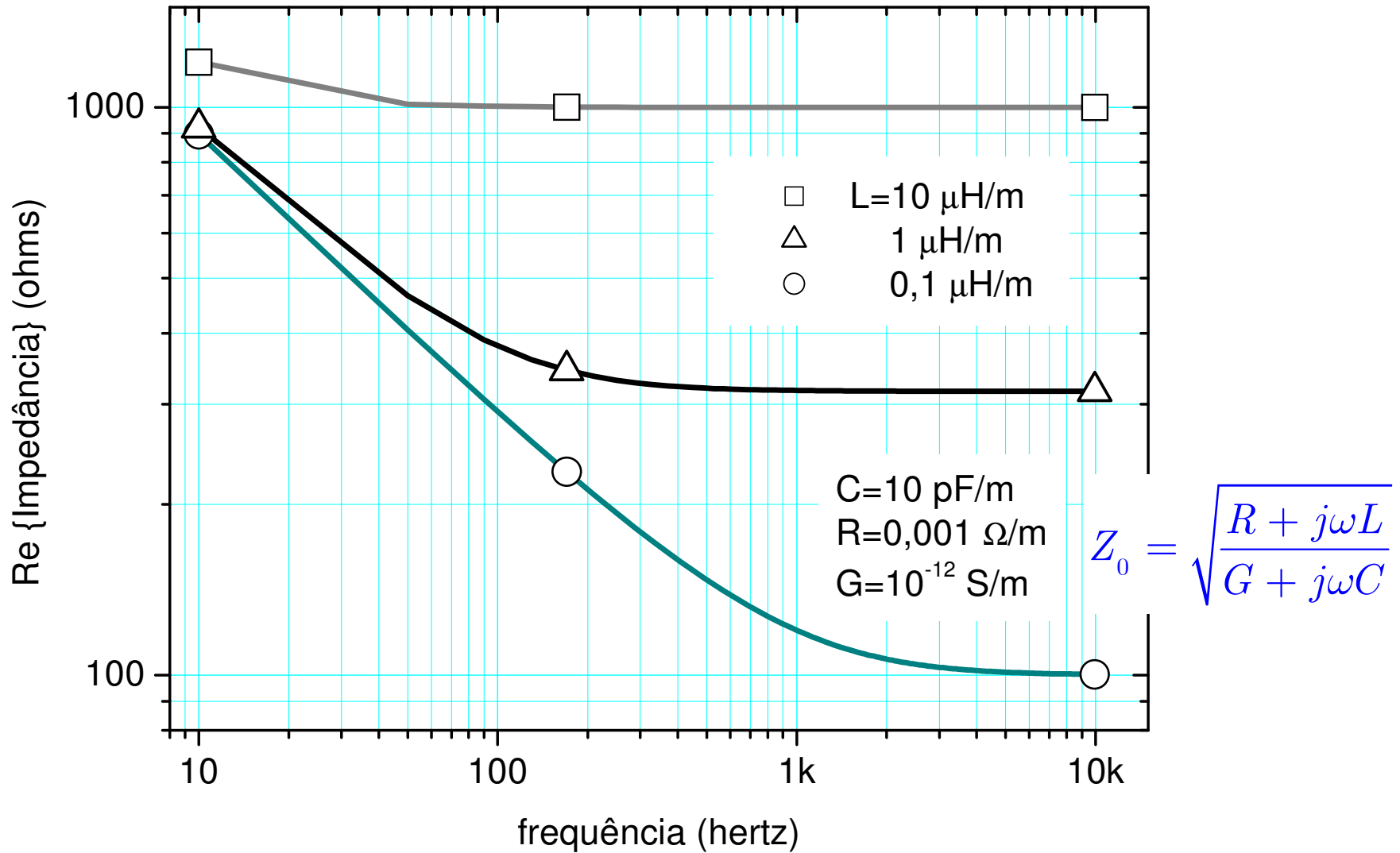


Linha: Variação da Resistência



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

Linha: Variação da Indutância



Especificação de par trançado-1: Exemplo

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Belden Cable 9815 Twinax, 20 AWG, polietileno (2,25-2,3 em 1 kHz)

Aplicações: Computação, instrumentação

Impedância característica: 100 Ω

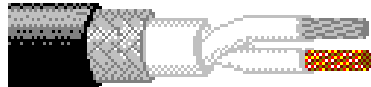
Indutância: 0,509 $\mu\text{H/m}$

Capacitância @ 1 kHz: 47,57 pF/m

Velocidade de propagação: 66 %

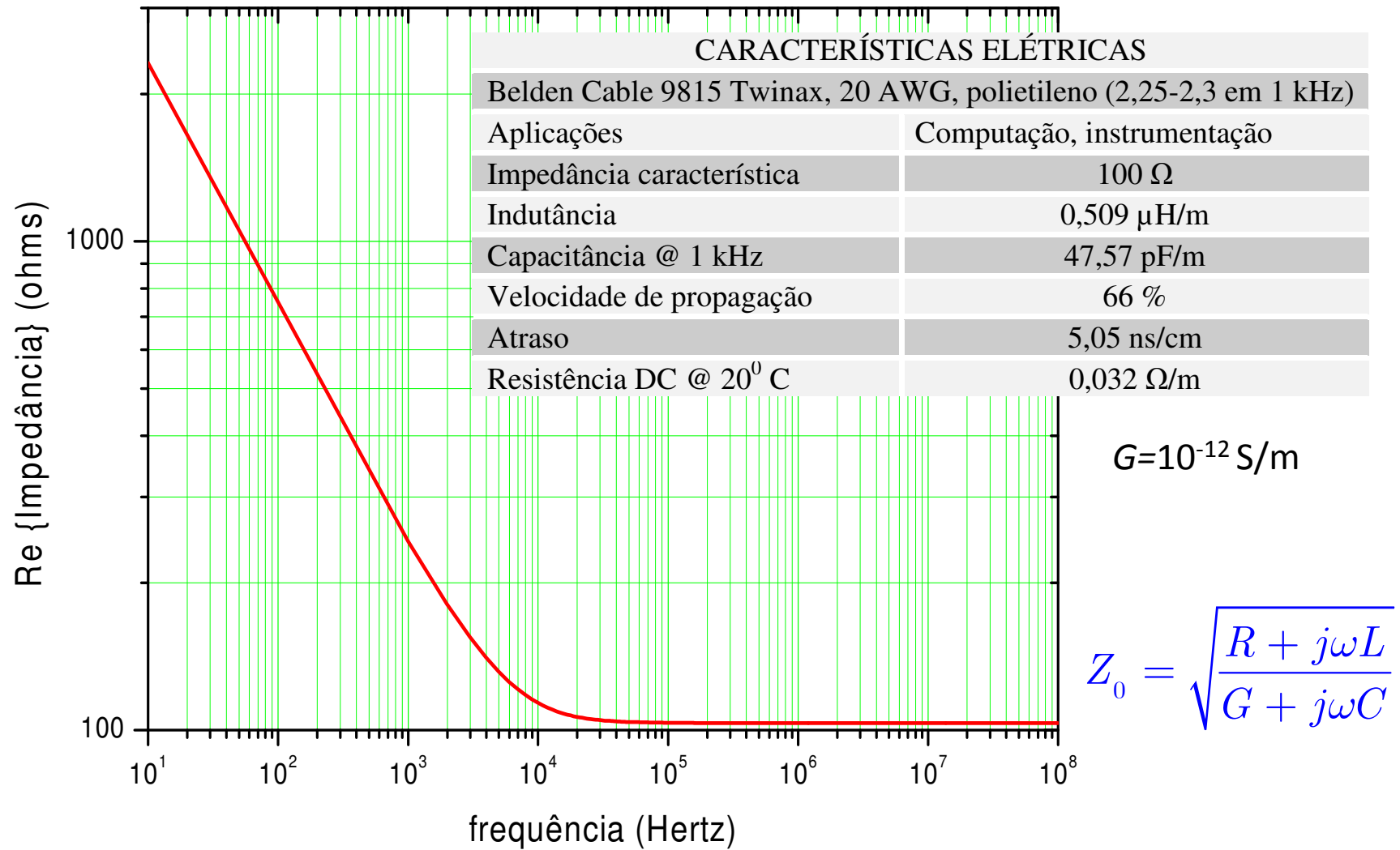
Atraso: 5,05 ns/cm

Resistência DC @ 20⁰ C: 0,032 Ω/m



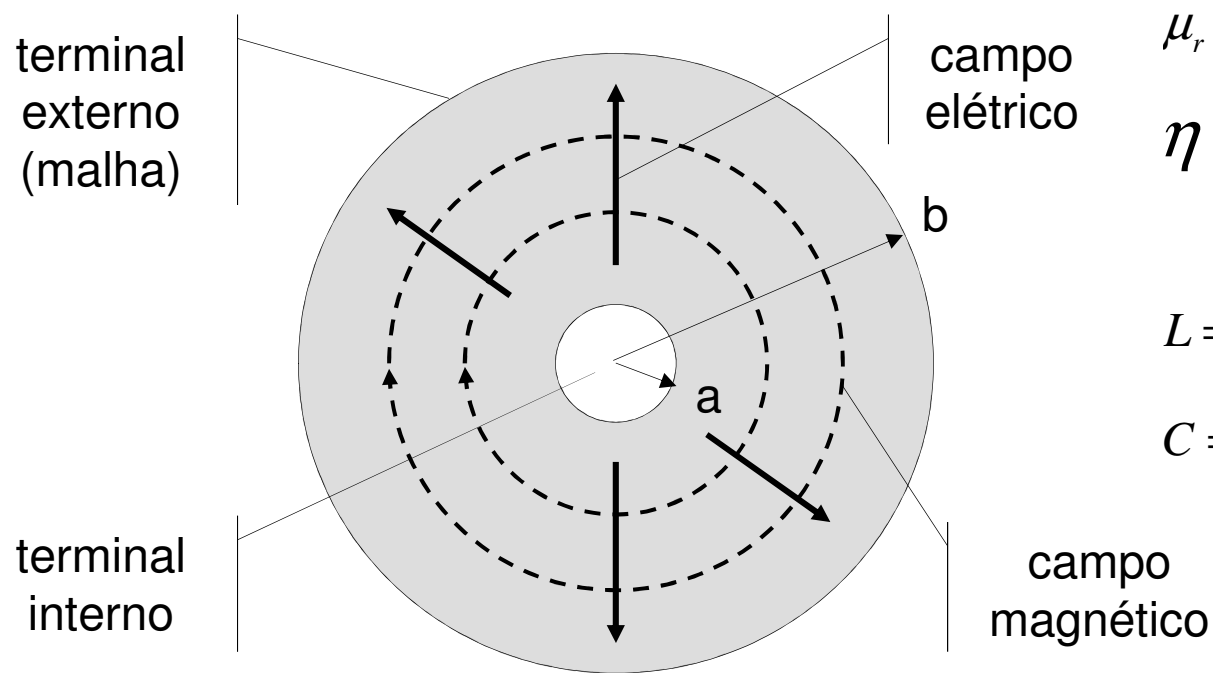
Ref.: Belden Cable, <http://bwccat.belden.com>

Especificação de par trançado-2: Exemplo



Ref.: Belden Cable, <http://bwccat.belden.com>

Cabo Coaxial-1



$$\mu_r = 1$$

$$\eta = 377 / \sqrt{\epsilon_r}$$

$$L = (\mu / 2\pi) \ln(b/a) \quad \text{H/m}$$

$$C = 2\pi\epsilon / \ln(b/a) \quad \text{F/m}$$

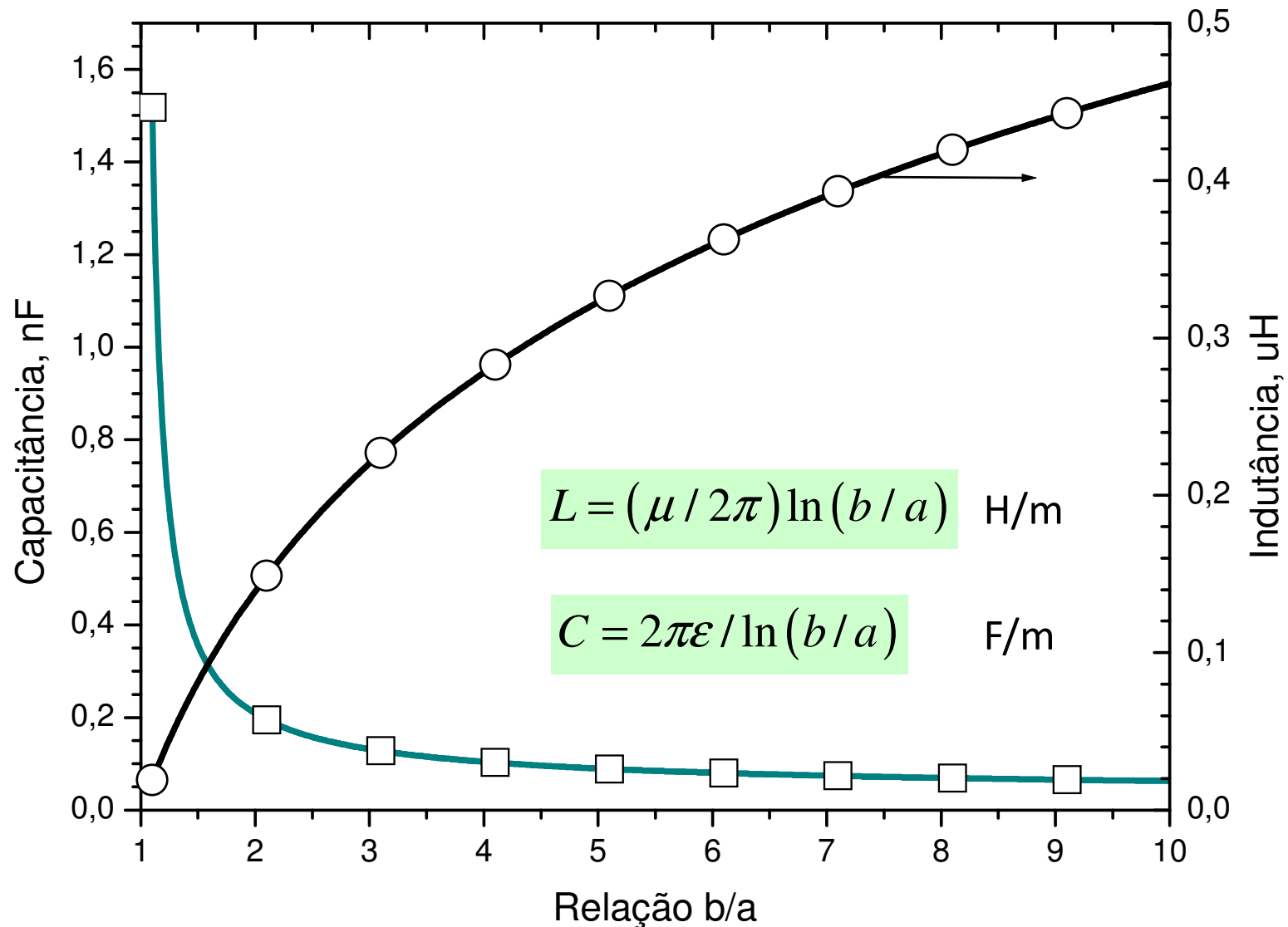
Impedância característica

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \text{ ohms}$$

Potência média transportada

$$P_m = \frac{1}{2} \frac{|v(z)|^2}{Z_0} = \frac{\pi \sqrt{\epsilon_r} |A|^2}{377} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \text{ watts}$$

Cabo Coaxial-3: C e $L \times b/a$



Cabo Coaxial-2

