
CAB – Cabeamento Estruturado e Redes Telefônicas

Prof. Ramon Mayor Martins, MSc.

ramon.mayor@ifsc.edu.br



PARTE 4.0: MEIOS DE TRANSMISSÃO – GRANDEZAS PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS
Disponível em: <http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/CAB-IntTel> (página)
Versão 2015

Ementa

- 1- Introdução
- 2- Conceitos Básicos
- 3- Parâmetros Limitadores
- 4- Meios de transmissão (par trançado, cabo coaxial, fibra óptica)
- 5- Cabeamento estruturado
- 6- Redes Telefônicas
- 7- Projeto de cabeamento estruturado, rede externa

4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.1.1 – Resistência

4.1.2 – Indutância

4.1.3 – Capacitância

4.1.4 - Condutância

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão

- Inicialmente será visto as grandezas para os meios de transmissão metálicos.
- As particularidades de meios opticos serão vistos quando for tratado de Fibras Opticas.

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão

Todo meio de transmissão metálico a dois condutores pode ser representado por um modelo elétrico:

Este modelo possui dois tipos de parâmetros primários:

- Longitudinais
- Transversais

- Longitudinais:

são as características que existem ao longo dos condutores que constituem a linha, tais como:

- Resistência por unidade de comprimento - R (/km)
- Indutância por unidade de comprimento - L (H/km)

- Transversais:

são as características que existem entre os condutores que constituem a linha, tais como:

- Capacitância por unidade de comprimento - C (F/km)
- Condutância do dielétrico por unidade de comprimento - G (mho/km)

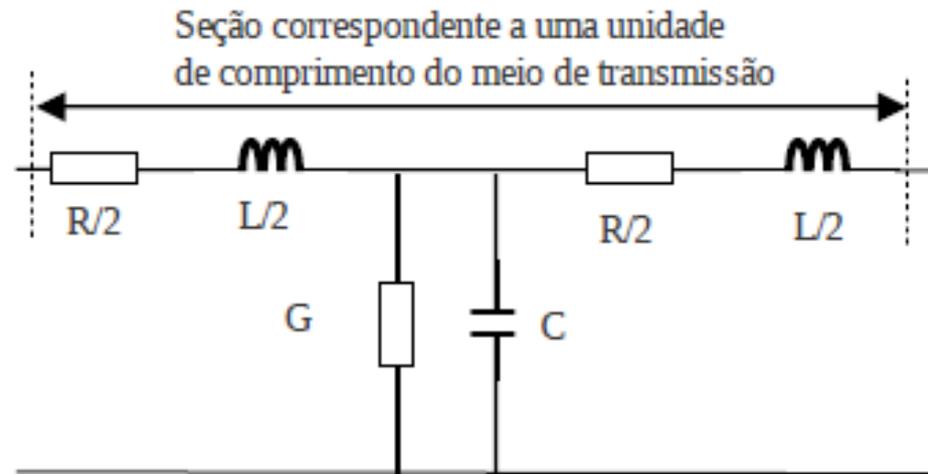


Figura 29: Modelo elétrico da linha de transmissão

4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.1.1 – Resistência

4.1.2 – Indutância

4.1.3 – Capacitância

4.1.4 - Condutância

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão – 4.1.1 Resistência

Trata da resistência elétrica do material condutor

No caso dos meios de transmissão os condutores são projetados para apresentar resistência o mais baixo possível.

-Resistencia em DC (direct current)

-Resistencia em AC (alternating current)

-A resistência é dada em Ω/Km .

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão –

4.1.1 Resistência

Resistência DC

É o fator que limita a corrente DC que o cabo pode suportar. Varia com a frequência e é fator determinante na atenuação

Para condutores operando em DC. a corrente circula em toda seção do mesmo, sendo a resistência do condutor dada por :

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

onde:

ρ = resistividade do material;

L = comprimento do condutor;

A = área da seção transversal.

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão –

4.1.1 Resistência

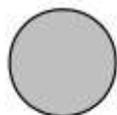
Resistência CA

No caso de sinais em corrente alternada (CA), a corrente não se distribui igualmente através da seção reta do condutor, mas concentra-se próximo a superfície externa do condutor a medida que a frequência aumenta.

Este efeito é conhecido como EFEITO PELICULAR (EFEITO SKIN).

Sua consequência é um aumento da resistência elétrica do condutor a medida que a frequência aumenta.

*Algumas estruturas de antenas e condutores de RF são feitos de metal oco por essa razão.



Em cc os elétrons atravessam toda área da seção do condutor.



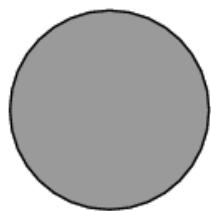
Em ca a medida em que a F aumenta os elétrons só atravessam a seção na periferia do condutor

Figura 30: Efeito pelicular

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão –

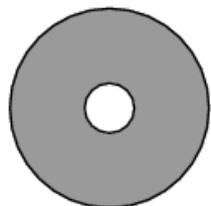
4.1.1 Resistência

Resistência CA – Efeito Skin



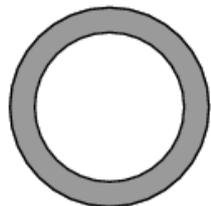
Cross-sectional area of a round conductor available for conducting DC current

"DC resistance"



Cross-sectional area of the same conductor available for conducting low-frequency AC

"AC resistance"

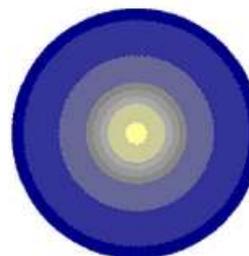


Cross-sectional area of the same conductor available for conducting high-frequency AC

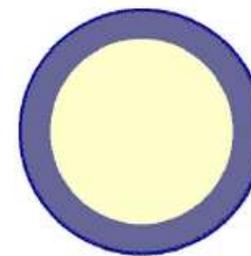
"AC resistance"

H.F. SKIN EFFECT

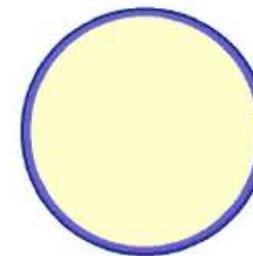
CURRENT PENETRATION DEPTH IN STEEL (CURRENT SHOWN IN BLUE)



60Hz.
6" (150mm)



1000Hz.
0.2" (5mm)



400kHz.
0.030" (0.75mm)

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão – 4.1.1 Resistência

Resistência CA

Para corrente alternada a resistência é dada por :

$$R_{AC} = (R_{DC})(k)\sqrt{f}$$

Where,

R_{AC} = AC resistance at given frequency "f"

R_{DC} = Resistance at zero frequency (DC)

k = Wire gage factor (see table below)

f = Frequency of AC in MHz (MegaHertz)

4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.1.1 – Resistência

4.1.2 – Indutância

4.1.3 – Capacitância

4.1.4 - Condutância

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão – 4.1.2 Indutância

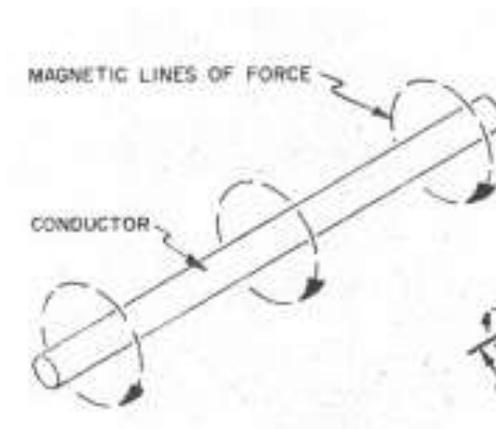
A indutância surge devido a corrente que cria ao redor dos condutores campos magnéticos que armazenam energia potencial magnética.

A indutância da linha depende da distância entre condutores e da presença ou não de materiais ferromagnéticos próximos.

Aumenta com a diminuição do espaçamento entre os condutores e com a presença de materiais ferromagnéticos

Diminui com o aumento do diâmetro dos fios.

Normalmente a indutância é medida em mH/Km.



4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.1.1 – Resistência

4.1.2 – Indutância

4.1.3 – Capacitância

4.1.4 - Condutância

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão – 4.1.2 Capacitância

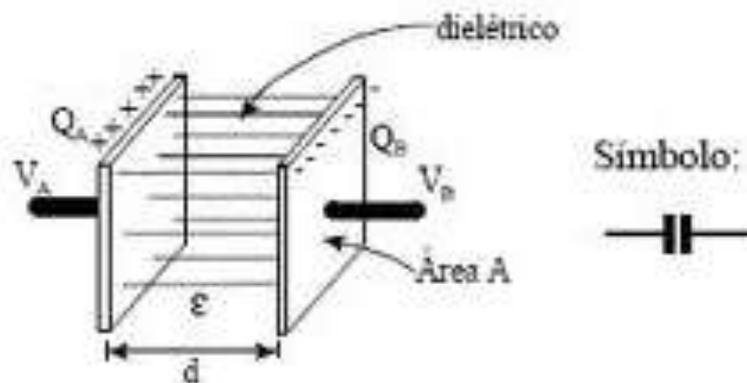
A capacitância surge da existência de cargas elétricas diferentes nos dois condutores, o que provoca um campo elétrico entre ambos.

O campo elétrico armazena energia potencial elétrica que resulta no efeito capacitivo demonstrado pelas linhas de transmissão.

Fator determinante para a Diafonia nas altas frequências, provocando atrasos que podem fazer o sinal desaparecer.

É função da distância e material de isolamento dos condutores.

A capacitância é normalmente dada em F/Km



4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão – 4.1.2 Capacitância

A capacitância de um meio depende dos seguintes parâmetros:

D - diâmetro dos condutores, aumentando quando este aumenta;

d - distância entre condutores, aumentando quando a distância diminui;

L = comprimento dos condutores, aumentando quando este aumenta;

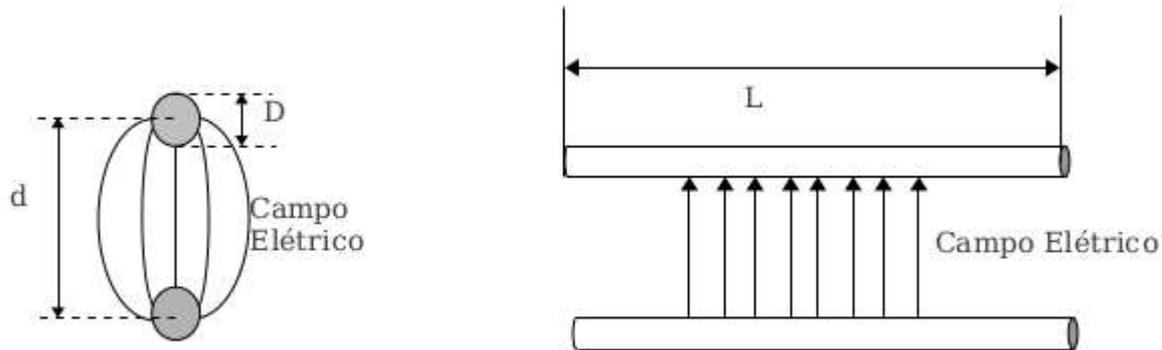


Figura 31: campo elétrico entre dois condutores

4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.1.1 – Resistência

4.1.2 – Indutância

4.1.3 – Capacitância

4.1.4 - Condutância

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.1 - Grandeza Primárias dos Meios de Transmissão – 4.1.4 Condutância

A condutância é uma grandeza inversa a resistência elétrica:

É medida em Siemens (símbolo S, igual a Ω^{-1}).

Condutância, G, está relacionada com a susceptância, B, e a admitância, Y, pela equação:

$$Y = G + B$$

4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão

A partir das grandezas primárias obtem-se as grandezas secundárias dos meios de transmissão, as quais são:

- Velocidade nominal de Propagação (NVP)
- Impedância Característica (Z_0)
- Constante de Propagação (Constante de Atenuação)
- Constante de Propagação (Constante de Fase)

4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.2.1 - Velocidade nominal de Propagação (NVP)

4.2.2 - Impedância Característica (Z_0)

4.2.3 - Constante de Propagação (Constante de Atenuação)

4.2.4 - Constante de Propagação (Constante de Fase)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão – 4.2.1 - Velocidade Nominal de Propagação (NVP)

-No espaço livre, a velocidade de propagação é igual à velocidade da luz no vácuo (c).

Onde:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

A μ_0 , **permeabilidade magnética**:

mensura o campo magnético no interior de um material.

A ϵ_0 , **permissividade elétrica**

é uma constante física que descreve como um **campo elétrico** afeta e é afetado por um meio.

A velocidade da Luz no vácuo é uma constante:

$$c = 300.000 \text{ km/s ou } 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão –

4.2.1 - Velocidade Nominal de Propagação (NVP)

Cada meio de transmissão apresenta condições específicas para propagação das ondas elétricas

Conforme a composição material e disposição espacial dos condutores a velocidade de propagação do sinal é alterada.

Na média, para meios metálicos, a velocidade de propagação de uma onda é 30% inferior a velocidade da luz no vácuo.

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão –

4.2.1 - Velocidade Nominal de Propagação (NVP)

Para cabos reais, a velocidade de propagação depende das propriedades do dielétrico de seus condutores.

O valor da velocidade de propagação de um meio é especificado através do seu valor percentual em relação a velocidade da luz no vácuo (NVP – Nominal Velocity Propagation)

A velocidade de propagação nominal (NVP, Nominal Velocity of Propagation) pode ser simplificada como:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Onde:

c é a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s)

ϵ_r é a permissividade relativa do dielétrico

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão – 4.2.1 - Velocidade Nominal de Propagação (NVP)

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Onde:

c é a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s)

ϵ_r é a permissividade relativa do dielétrico

a NVP é normalmente referida como uma porcentagem da velocidade da luz no vácuo e pode ser calculada de acordo com a seguinte expressão

$$NVP = \frac{v}{c} = \frac{\frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}}{c} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \cdot \frac{1}{c} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

Onde:

v é a velocidade de propagação e depende das características do dielétrico assim como da frequência de operação

c é a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s)

μ_r é a permeabilidade relativa do dielétrico

ϵ_r é a permissividade relativa do dielétrico

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão – 4.2.1 - Velocidade Nominal de Propagação (NVP)

Tabela 18.3 - Valores de ϵ_r para alguns materiais a 20°C.

Cristais inorgânicos	ϵ_r	Cerâmicas	ϵ_r
NaCl (seco)	5,5	Alumina	8,1-9,5
		Porcelana	6,0-8,0
CaCO ₃	9,15	Enstatita	5,5-7,5
Al ₂ O ₃ , MgO	10,0; 8,2	Forsterita	6,2
		Silicato de Alumínio	4,8
TiO ₂	100	Titanatos	50
BaTiO ₃	4100	Zirconia	8-10,5
Vidros	ϵ_r	Mica	5,4-8,7
Sílica fundida	3,8	Resinas poliméricas polares	ϵ_r
Pirex	5,1	Poli(cloreto de vinila)	3,2-3,6
Vidro soda-lime	6,9	Acetato de polivinil	3,2
Resinas poliméricas não polares	ϵ_r	Nylon 6,6	4,0-3,6
Polietileno	2,3	Polietileno tereftalato	3-2,5
Polipropileno	2,5-2,6	Epoxy	3,0-4,5
politetrafluoretileno	2,1	Policarbonato	2,9-3,0

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão –

4.2.1 - Velocidade Nominal de Propagação (NVP)

Exemplo de aplicação: Considere um meio de transmissão cujo dielétrico é feito de polietileno e a frequência de operação é de 10 GHz. Considerando-se c (a velocidade da luz no vácuo) igual a $3 \cdot 10^8$ m/s calcule a NVP deste meio de transmissão

Solução

$\epsilon_r = 2,25$ (Polietileno a 10 GHz)

$\mu_r = 1$ (a menos que informado outro valor) – materiais dielétricos

Por meio da equação dada em (3), segue

$$NVP = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \cdot 100 = \frac{1}{\sqrt{1 \cdot \epsilon_r}} \cdot 100 = \frac{1}{\sqrt{2.25}} \cdot 100 = \frac{1}{1.5} \cdot 100 = 0,6667 \cdot 100 = 66,67 \%$$

$$NVP = 66,67 \% \Rightarrow v \cong 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão –

4.2.1 - Velocidade Nominal de Propagação (NVP)

Em termos práticos se um dado cabo tem uma NVP de 62%, isso significa que a velocidade de propagação dos sinais ou ondas através de seus condutores é de 186.000.000 m/s or $1,86 \times 10^8$ m/s.

No cabeamento estruturado, as normas TIA/EIA e a norma internacional ISO11801, especificam que a NVP de um par-trançado deve ser maior ou igual a 69% da velocidade da luz no vácuo.

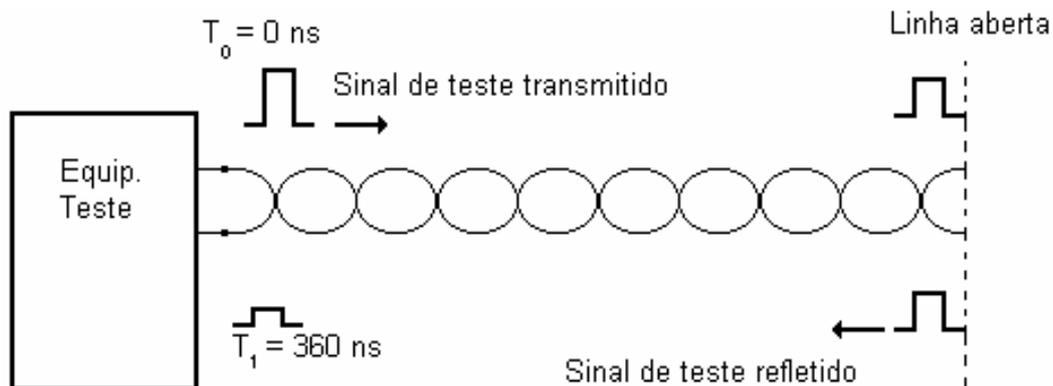
4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão –

4.2.1 - Velocidade Nominal de Propagação (NVP)

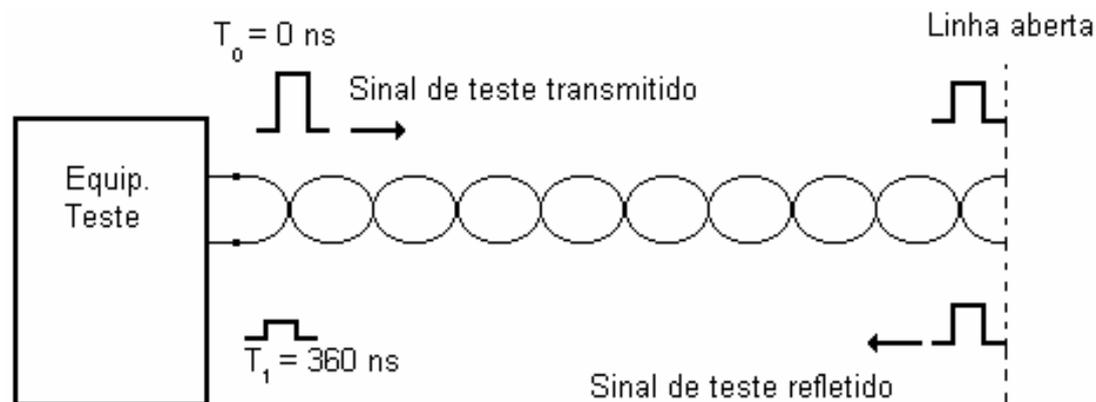
Em sistemas de cabeamento estruturado o uso de um valor adequado (preciso) da NVP para um dado cabo sob teste nos permite obter valores de comprimentos “medidos” mais precisos também.

É importante lembrar que os equipamentos de testes de campo não medem o comprimento do enlace ou canal sob teste.

Na verdade, estes equipamentos calculam o comprimento a partir da medição do tempo de ida e volta (reflexão) de um sinal de teste e da NVP do cabo em questão.



4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão – 4.2.1 - Velocidade Nominal de Propagação (NVP)



O equipamento de teste, “aciona um cronômetro” quando o sinal de teste é transmitido ($T_0 = 0 \text{ ns}$) e “para” o mesmo quando o sinal refletido (e atenuado pelo meio) é recebido ($T_1 = 360 \text{ ns}$).

Considerando-se que a NVP do cabo em questão é de 72%, pode-se determinar o comprimento do segmento de cabo sob teste da seguinte forma:

$$l_{\text{cabo}} = \frac{(T_1 - T_0) \cdot NVP}{2} = \frac{(360 \cdot 10^{-9}) \cdot 216 \cdot 10^6}{2} = \frac{77,8}{2} = 38,9 \text{ m}$$

Nota: $NVP = 72\%c = 2,16 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.2.1 - Velocidade nominal de Propagação (NVP)

4.2.2 - Impedância Característica (Z_0)

4.2.3 - Constante de Propagação (Constante de Atenuação)

4.2.4 - Constante de Propagação (Constante de Fase)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão –

4.2.2 – Impedância Característica (Z_0)

- A impedância define a relação entre a tensão e a corrente do meio de transmissão.
- Quando esta relação é alterada, o sinal que está se propagando percebe a mudança.
- Dependendo da intensidade desta mudança, parte do sinal não continua seu caminho normal e retorna no sentido de seu ponto de partida
- Tecnicamente dizemos que esta parcela de sinal sofreu reflexão.
- Portanto, toda vez que há uma mudança na impedância característica do meio, ocorre reflexão de parte do sinal que se propaga.

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão – 4.2.2 – Impedância Característica (Z_0)

A impedância de um determinado meio é dada por:

$$Z_0 = \frac{V}{I}$$

onde:

V – tensão entre os condutores do meio;

I – corrente que percorre o meio.

A grandeza elétrica que determina como são as condições do meio de transmissão é chamada de:

Impedância Característica na Linha (Z_0), definida por:

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

Para os pares trançados $R \gg G$ e $C \gg L$, permitindo o cálculo de Z_0 pela equação:

$$Z_0 = \sqrt{R/C}$$

4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.2.1 - Velocidade nominal de Propagação (NVP)

4.2.2 - Impedância Característica (Z_0)

4.2.3 - Constante de Propagação (Constante de Atenuação)

4.2.4 - Constante de Propagação (Constante de Fase)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão –

4.2.3 – Constante de Atenuação (α):

A constante de atenuação indica a perda de potência sofrida pelo sinal elétrico ao se propagar num meio de transmissão.

Grande parte da potencia perdida é transformada em calor pelo efeito joule.

Em geral a atenuação do sinal depende da frequência do mesmo, sendo maior para frequências mais altas.

A constante de atenuação geralmente e dada e medida em dB, correspondendo a relação entre a potência de entrada e a potência de saída considerando uma unidade de medida do meio.

$$\alpha = 10 \log\left(\frac{P_E}{P_S}\right) (dB / Km)$$

onde:

P_E – potência de entrada.

P_S – potência de saída.

4 – Meios de transmissão

4.1 - Grandeza Primária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão (Metálicos)

4.2.1 - Velocidade nominal de Propagação (NVP)

4.2.2 - Impedância Característica (Z_0)

4.2.3 - Constante de Propagação (Constante de Atenuação)

4.2.4 - Constante de Propagação (Constante de Fase)

4.3 - Tipos de Meios de Transmissão

4- Meios de Transmissão – 4.2 - Grandeza Secundária dos Meios de Transmissão –

4.2.3 – Constante de Fase (β):

A constante de fase indica a defasagem entre o sinal no início do meio de transmissão e o mesmo sinal após percorrer uma unidade de comprimento da linha.

A defasagem do sinal dependerá da sua frequência e da velocidade de propagação do meio.