

**Figura 6.19**  
Antena Cassegrain.



# Capítulo 7

## Linhas de transmissão



## 7.1 Definição

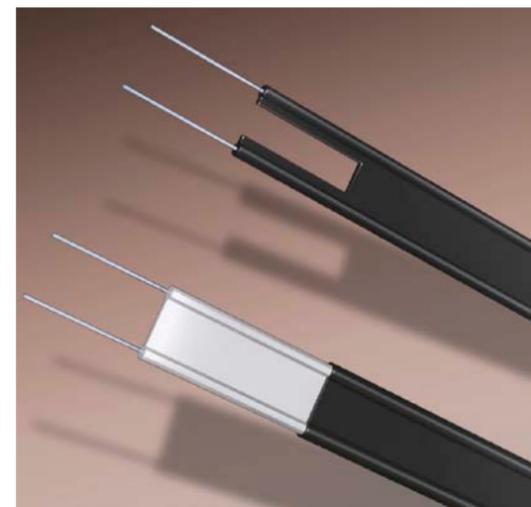
Linha de transmissão (LT) é um par de condutores destinado a transportar uma corrente de RF gerada entre o transmissor e a antena. São exemplos de linhas de transmissão: cabo coaxial, linha bifilar, linha microstrip e guias de onda.

O **cabo coaxial** é formado por dois condutores, dispostos de tal maneira que um deles funciona como blindagem do outro. Esses condutores estão separados por um material dielétrico (figura 7.1). O condutor externo normalmente é substituído por uma malha metálica. Os cabos coaxiais apresentam impedância de 50 e 75  $\Omega$ , podendo ser aplicados conforme as especificações técnicas do projeto.

**Figura 7.1**  
Estrutura de um  
cabo coaxial.

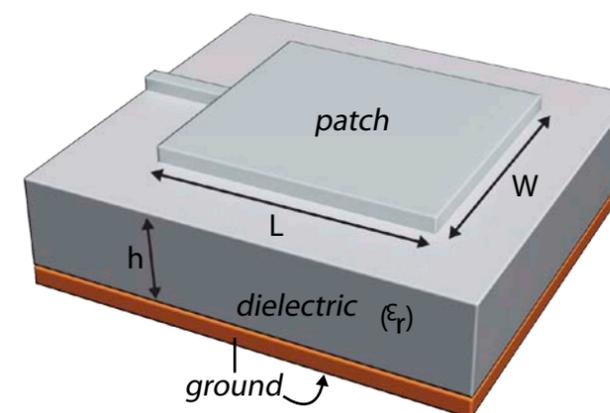


A **linha bifilar** é composta por um par de fios condutores, isolados por uma capa plástica de formato achatado. Esse tipo de condutor normalmente é utilizado na conexão de antenas de VHF ao aparelho de TV, com impedância característica de 300  $\Omega$ . É muito suscetível a ruído e apresenta grande irradiação do sinal conduzido, além de possíveis acoplamentos entre duas linhas, devido à existência de campos eletromagnéticos induzidos no espaço envolvente entre os condutores (figura 7.2).



**Figura 7.2**  
Linha bifilar.

A **linha microstrip** é constituída por uma fita de material condutor fixada sobre um dielétrico e, na outra face, uma placa metálica ligada à terra (figura 7.3).



**Figura 7.3**  
Linha microstrip.

De comprimento físico muito pequeno, as linhas microstrip são projetadas para frequências tipicamente superiores a 300 MHz, nas faixas de micro-ondas e ondas milimétricas. Nessas faixas, o comprimento de onda se torna suficientemente pequeno para a construção de linhas com base em tecnologia de circuito impresso.

Os **guias de onda** são tubos metálicos ocios ou preenchidos com material dielétrico utilizados para a transmissão de energia em altas frequências, na faixa de micro-ondas em SHF (*super high frequency*).

Devido à baixa atenuação, funcionam como sistema de alimentação das antenas parabólicas na faixa de micro-ondas, podendo ser (figura 7.4):



Figura 7.4

Tipos de guias de onda.

- Guias de onda elípticos.
- Guias de onda retangulares.
- Guias de onda circulares.

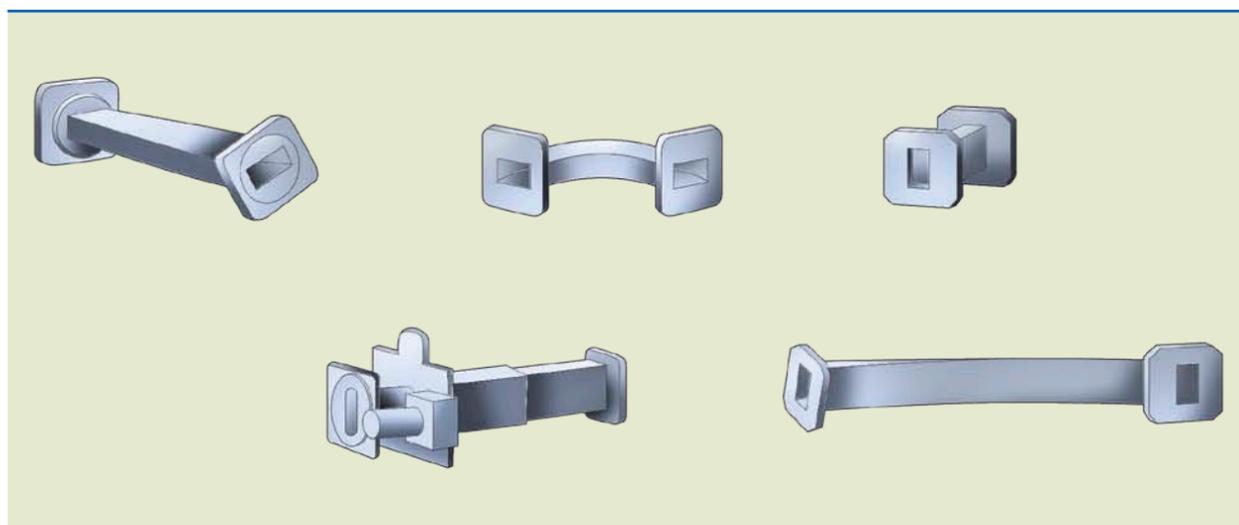
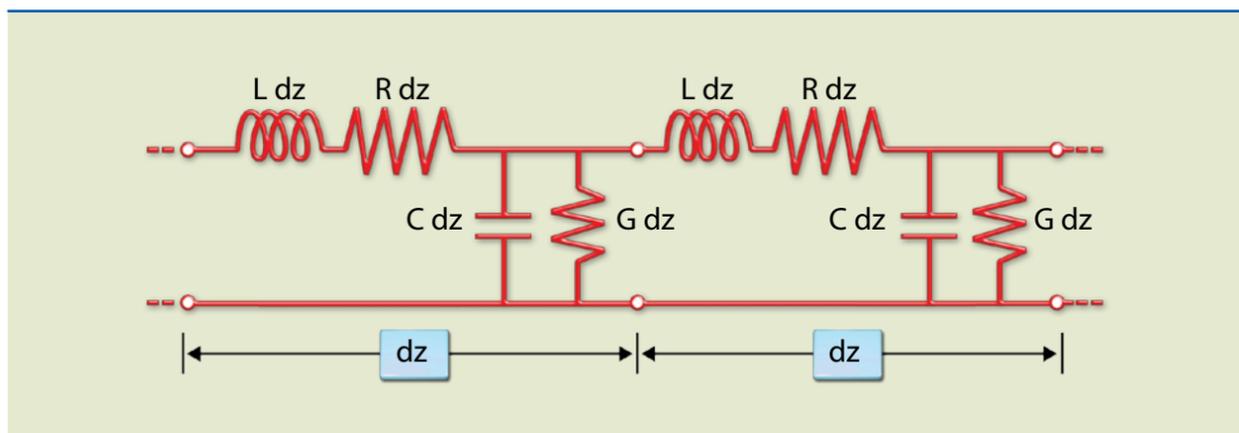


Figura 7.5

Circuito equivalente de uma linha de transmissão.

## 7.2 Características de uma linha de transmissão

O **circuito equivalente** de uma linha de transmissão é apresentado na figura 7.5.A **impedância característica** da linha de transmissão é dada por:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{(j\omega L + R)}{(j\omega C + G)}} \quad (7.1)$$

em que:

- R é a resistência por unidade de comprimento;
- C, a capacitância por unidade de comprimento;

- L, a indutância por unidade de comprimento;
- G, a condutância por unidade de comprimento;
- $j\omega L$  é a reatância indutiva;
- $1/j\omega C$ , a reatância capacitiva.

Para linhas de transmissão com perdas desprezíveis, os valores de R e G são extremamente pequenos em relação às reatâncias indutiva e capacitiva da linha. Desse modo, podemos determinar a impedância da linha da seguinte maneira:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (7.2)$$

Tomemos como exemplo o cabo RG058:

- C = 101 pF/m
- L = 252,5 nH/m
- $Z_0 = 50 \Omega$

A **atenuação** da linha de transmissão é definida por meio da comparação dos valores de amplitude da tensão ou corrente na entrada e na saída da linha, em dB/m:

$$A = 20 \cdot \log \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (7.3)$$

$$= 10 \cdot \log \frac{I_{out}}{I_{in}} \quad (7.4)$$

A **frequência de corte** é o valor máximo de frequência da onda a ser aplicada na LT. Acima desse valor, haverá perdas na transmissão.

## 7.3 Casamento de impedâncias

O casamento de impedâncias em uma linha de transmissão ocorre quando sua impedância é igual à impedância de uma carga conectada a ela e quando há absorção total da potência incidente sobre a carga. Nessa situação, pode-se admitir que todos os pontos da linha estarão com tensão e corrente nas amplitudes máximas e fases constantes. Entretanto, se a linha estiver descasada, surgirá uma onda refletida na LT, além da onda incidente na carga, provocando dissipação parcial da potência sobre o transmissor e perdas.

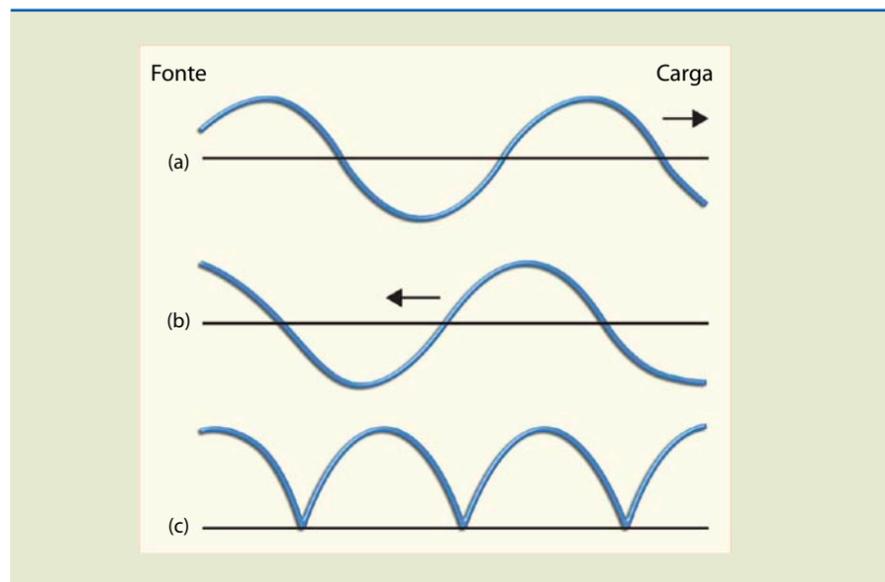
Ondas estacionárias são ondas refletidas na antena e decorrentes dela que transitam pela LT. Essas ondas provocam superaquecimento do estágio de saída do transmissor e, conseqüentemente, reduzem o rendimento da transmissão (figura 7.6).

Na prática, sempre ocorre algum descasamento na LT.



**Figura 7.6**

- (a) Sinal incidente na carga,
- (b) onda refletida e
- (c) onda estacionária.



### 7.3.1 Taxa de onda estacionária (SWR – standing wave ratio)

É a relação entre as amplitudes máxima e mínima de tensão ou corrente ao longo da linha de transmissão:

$$SWR = \frac{V_{\text{máx}}}{V_{\text{mín}}} = \frac{I_{\text{máx}}}{I_{\text{mín}}} \quad (7.5)$$

Também pode ser expressa das seguintes maneiras:

$$SWR = \frac{Z_L}{Z_0}, \text{ para } Z_L > Z_0 \quad (7.6) \quad \text{ou:} \quad SWR = \frac{Z_0}{Z_L}, \text{ para } Z_0 > Z_L \quad (7.7)$$

### 7.3.2 Coeficiente de reflexão

É a razão entre a altura da onda refletida e a altura da onda incidente ou a razão entre a energia refletida e a energia incidente. Varia entre 1 (quando se verifica reflexão total) e 0 (ausência de reflexão).

Em relação à SWR, temos:

$$K_r = \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \quad (7.8)$$

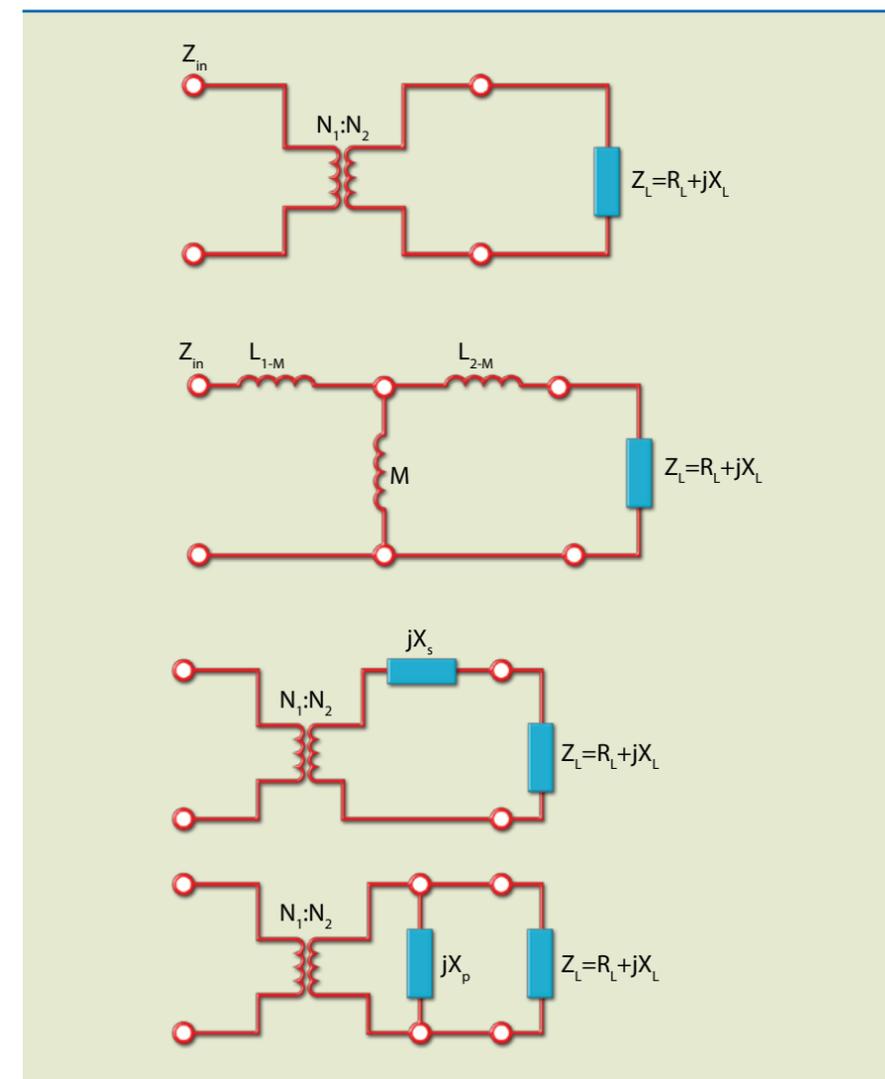
Em relação à carga:

$$K_r = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (7.9)$$

### 7.3.3 Métodos de casamento de impedâncias

#### Transformador casador de impedâncias

Realiza o casamento de impedâncias e eleva a tensão da onda portadora. Consequentemente, a corrente de RF diminui, reduzindo a potência dissipada na linha. A figura 7.7 ilustra o casamento por transformador.



**Figura 7.7**

Transformador casador de impedâncias.

As relações para o correto casamento utilizando transformador são as seguintes:

$$2\pi f \cdot M \gg |Z_L| \quad (7.10)$$

$$L_1 \cdot L_2 = M^2$$

$$Z_{in} = Z_L \cdot \frac{L_1}{L_2}$$

$$Z_{in} = Z_L \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

