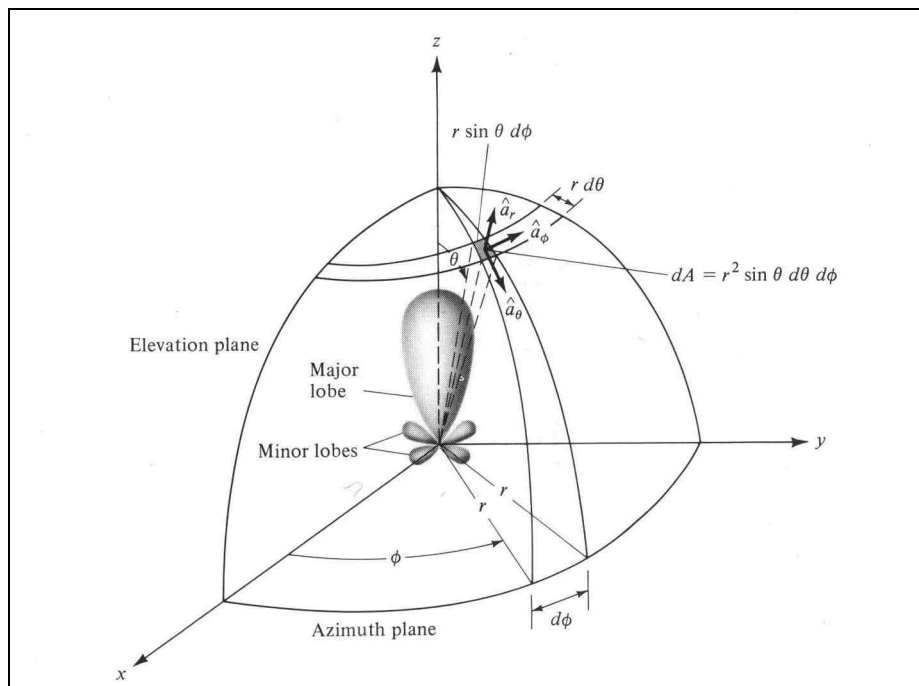


# Antenas

## ↩ Parâmetros fundamentais das antenas - 1

### ❖ Diagrama de radiação

- O diagrama de radiação é definido como *a função matemática ou a representação gráfica das propriedades de radiação da antena em função das coordenadas espaciais.*



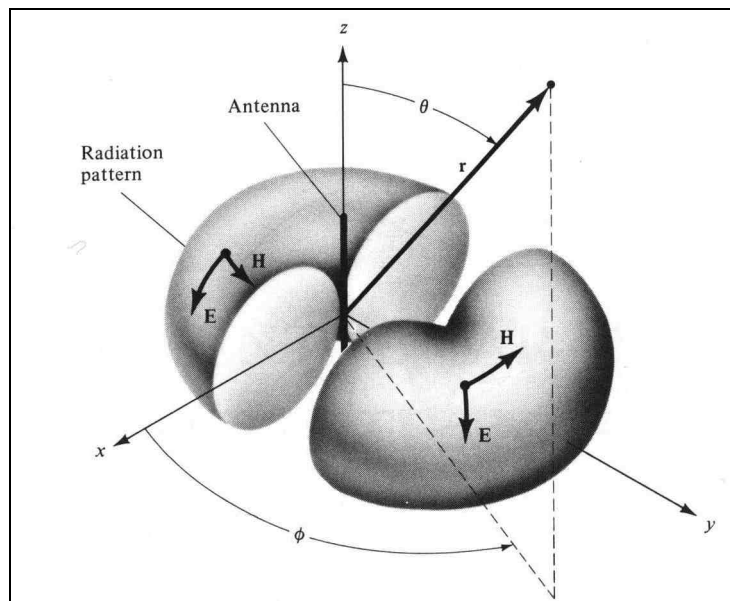
- Uma antena isotrópica é uma *antena sem perdas que radia igualmente para todas as direcções.*
- Uma antena isotrópica é um caso ideal que não é fisicamente realizável. No entanto, é tomado como referência para a expressão das propriedades de directividade das antenas.
- Uma antena direcciona é uma *antena que tem a propriedade de radiar ou receber ondas electromagnéticas mais eficientemente em algumas direcções.*

# Antenas

## ↩ Parâmetros fundamentais das antenas - 2

### ❖ Diagrama de radiação

- Na figura temos o diagrama de radiação de uma antena que é direccional num plano perpendicular a  $xy$  e não direccional no plano  $xy$ .

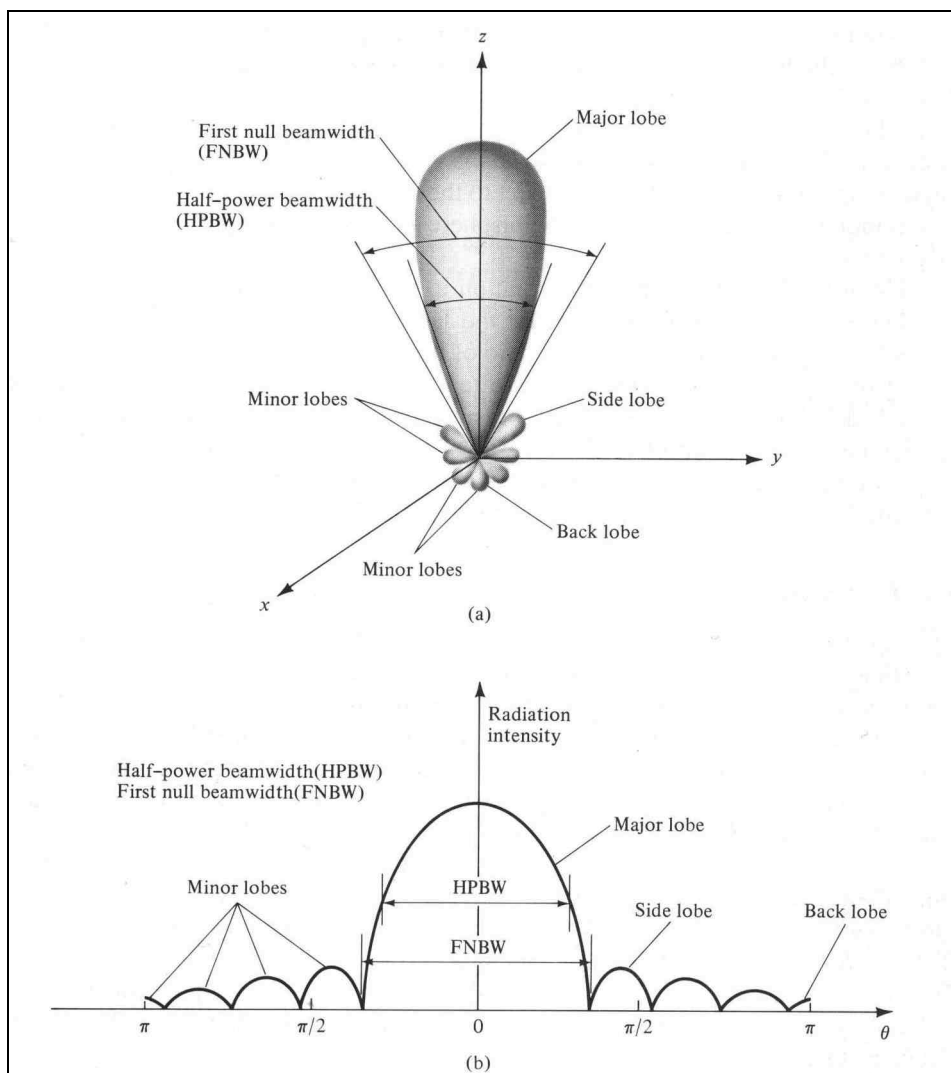


- Uma antena omnidireccional é uma antena que tem um diagrama de radiação não direccional num plano e um diagrama de radiação direccional em qualquer plano perpendicular.
- Lóbulos do diagrama de radiação
  - Um lóculo de radiação é uma parte do diagrama de radiação delimitado por regiões de relativa baixa intensidade de radiação.
  - Os lóbulos podem ser classificados como maior ou principal, laterais ou traseiros.

# Antenas

## ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 3

### ❖ Diagrama de radiação



## Antenas

### ↩ Parâmetros fundamentais das antenas - 4

#### ❖ Diagrama de radiação

##### ➤ Regiões de radiação

- O espaço que rodeia uma antena é normalmente dividido em três regiões:
  - campo próximo reactivo (reactive near-field);
  - campo próximo radiante (radiating near-field);
  - campo distante (far-field).
- As fronteiras que separam estas regiões não têm valores bem definidos, no entanto foram estabelecidos alguns critérios para a identificação destas regiões.
- O campo próximo reactivo (reactive near-field) é definido como a parte do campo próximo onde o campo reactivo predomina.
- Considera-se que esta zona existe a uma distância

$$R < 0,62 \sqrt{D^3 / \lambda}$$

onde  $R$  é a distância à superfície da antena,  $\lambda$  é o comprimento de onda e  $D$  a maior dimensão da antena.

- O campo próximo radiante (radiating near-field) é definida como a região do campo de uma antena que fica entre a região reactiva e o campo distante. Nesta zona a distribuição angular do campo depende da distância à antena.

## Antenas

### ↩ Parâmetros fundamentais das antenas - 5

#### ❖ Diagrama de radiação

##### ➤ Regiões de radiação

- Considera-se que esta zona existe dentro dos seguintes dois limites:

$$0,62\sqrt{D^3/I} \leq R < 2D^2/I$$

- Se a antena tem uma dimensão máxima que não é grande quando comparada com o comprimento de onda, esta zona pode não existir.
- O campo distante (far-field) é definido como a região onde o campo gerado pela antena tem uma distribuição angular que é essencialmente independente da distância à antena.

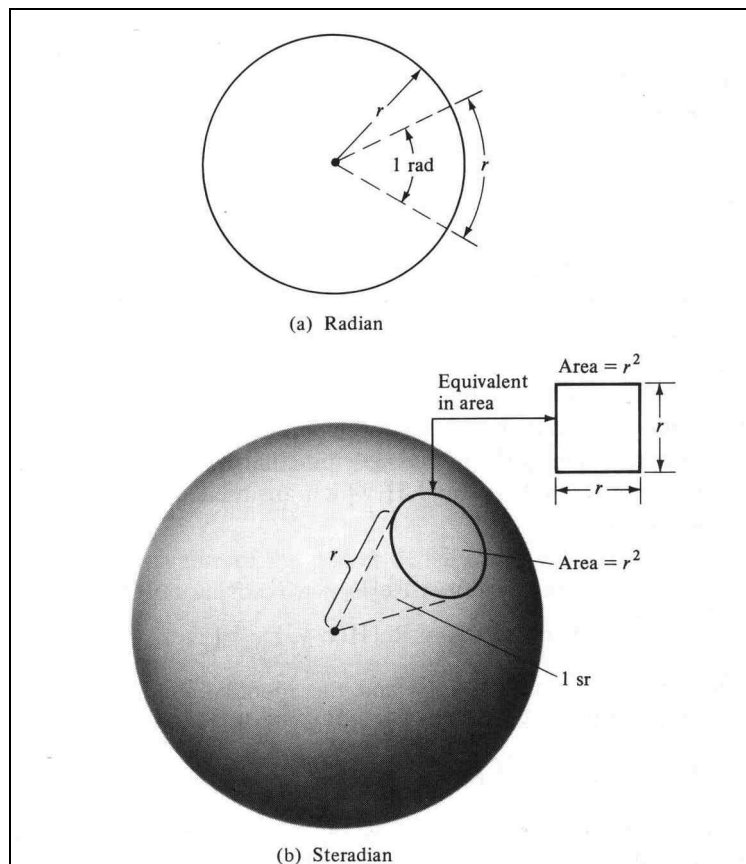
# Antenas

## ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 6

### ❖ Diagrama de radiação

#### ➤ Radianos e esteradianos

- A medida de um ângulo plano é o radiano que é definido como o perímetro de um arco de circunferência com raio igual a 1.
- A medida de um ângulo sólido é o estreradiano que é definido como a área da superfície de um cone de uma esfera com raio igual a 1.
- Como a área de uma esfera é  $4\pi r^2$ , existem  $4\pi$  esteradianos (sr) numa esfera.



# Antenas

## ↩ Parâmetros fundamentais das antenas - 7

### ❖ Diagrama de radiação

#### ➤ Radianos e esteradianos

- O elemento infinitesimal de área  $dA$  da esfera de raio  $r$  é dado por:

$$dA = r^2 \sin\theta d\theta d\phi \quad (\text{m}^2)$$

- O elemento de ângulo sólido  $d\Omega$  de uma esfera pode ser escrito como:

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin\theta d\theta d\phi \quad (\text{sr})$$

## Antenas

### ↩ Parâmetros fundamentais das antenas - 8

#### ❖ Densidade de potência de radiação

- As ondas electromagnéticas são usadas para transportar informação através de um meio sem fios de um ponto para outro. É então natural assumir que existe potência e energia associados aos campos electromagnéticos.
- A quantidade usada para descrever a potência associada a uma onda electromagnética é o *vector de Poynting* definido por:

$$\mathbf{W} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

$\mathbf{W}$  = Vector de Poynting ( $\text{W/m}^2$ )

$\mathbf{E}$  = Intensidade de campo eléctrico ( $\text{V/m}$ )

$\mathbf{H}$  = Intensidade de campo magnético ( $\text{A/m}$ )

- Como o vector de Poynting é um densidade de potência, a potência total através de uma superfície fechada é obtida através do integral de superfície:

$$P = \oint_S \mathbf{W} \cdot d\mathbf{s}$$

- O valor instantâneo tem pouca utilidade sendo por isso normalmente utilizado o seu valor médio:

$$E(x, y, z, t) = \text{Re} \left[ E(x, y, z) e^{j\omega t} \right]$$

$$H(x, y, z, t) = \text{Re} \left[ H(x, y, z) e^{j\omega t} \right]$$



## Antenas

### ↩ Parâmetros fundamentais das antenas - 9

#### ❖ Densidade de potência de radiação

- Utilizando estas duas expressões e sabendo que:

$$\operatorname{Re}[Ee^{j\omega t}] = \frac{1}{2} [Ee^{j\omega t} + E^* e^{-j\omega t}]$$

obtemos:

$$W = E \times H = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[E \times H^*] + \frac{1}{2} \operatorname{Re}[E \times H e^{j\omega t}]$$

- O primeiro termo não depende do tempo do tempo enquanto o segundo varia no tempo com o dobro da frequência.
- A média temporal do vector de Poynting (densidade de potência média) pode ser escrita como:

$$W_m(x, y, z) = [w(x, y, z, t)]_{\text{média}} = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[E \times H^*] \quad (\text{W/m}^2)$$

- O factor  $\frac{1}{2}$  aparece porque E e H são valores de pico e deverá ser omitido para valores de E e H *RMS*.
- A potência radiada por uma antena pode ser escrita como:

$$P_{\text{rad}} = P_{\text{média}} = \oint_S W_{\text{rad}} \cdot ds = \frac{1}{2} \oint_S \operatorname{Re}(E \times H^*) \cdot ds$$

## Antenas



### Parâmetros fundamentais das antenas - 10

#### ❖ Intensidade de radiação

- A intensidade de radiação numa dada direcção é definida como a potência radiada por uma antena por unidade de ângulo sólido nessa direcção.
- A intensidade de radiação é um parâmetro do campo distante (far-field) e pode ser obtido multiplicando a densidade de radiação pelo quadrado da distância.

$$U = r^2 W_{rad}$$

$U$  = intensidade de radiação (W/sr)

$W_{rad}$  = densidade de radiação (W/m<sup>2</sup>)

- A potência total é obtida através da integração da intensidade de radiação sobre todo o ângulo sólido:

$$P_{rad} = \oiint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U \sin\theta d\theta d\phi$$

$dW$  = elemento de ângulo sólido =  $\sin\theta d\theta d\phi$ .

- Para uma antena isotrópica temos:

$$P_{rad} = \oiint_{\Omega} U_0 d\Omega = U_0 \oiint_{\Omega} d\Omega = 4\pi U_0$$

a intensidade de radiação de uma antena isotrópica será então:

$$U_0 = \frac{P_{rad}}{4\pi}$$

## Antenas



### Parâmetros fundamentais das antenas - 11

#### ❖ Directividade

- A **directividade** de uma antena é a razão entre a intensidade de radiação numa dada direcção e a intensidade média.
- Se a direcção não for especificada fica implícita a direcção de maior radiação.
- A **directividade** de uma fonte não isotrópica é igual à razão da sua intensidade de radiação numa dada direcção e a intensidade de radiação de uma fonte isotrópica.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4pU}{P_{rad}}$$

- Se a direcção não for especificada fica implícito a direcção do máximo de intensidade de radiação (máxima directividade):

$$D_{máx} = D_0 = \frac{U_{máx}}{U_0} = \frac{4pU_{máx}}{P_{rad}}$$

- A directividade de um dipolo de meia-onda ( $l=l/2$ ) pode ser aproximada por:

$$D = D_0 \sin^3 q = 1,67 \sin^3 q$$

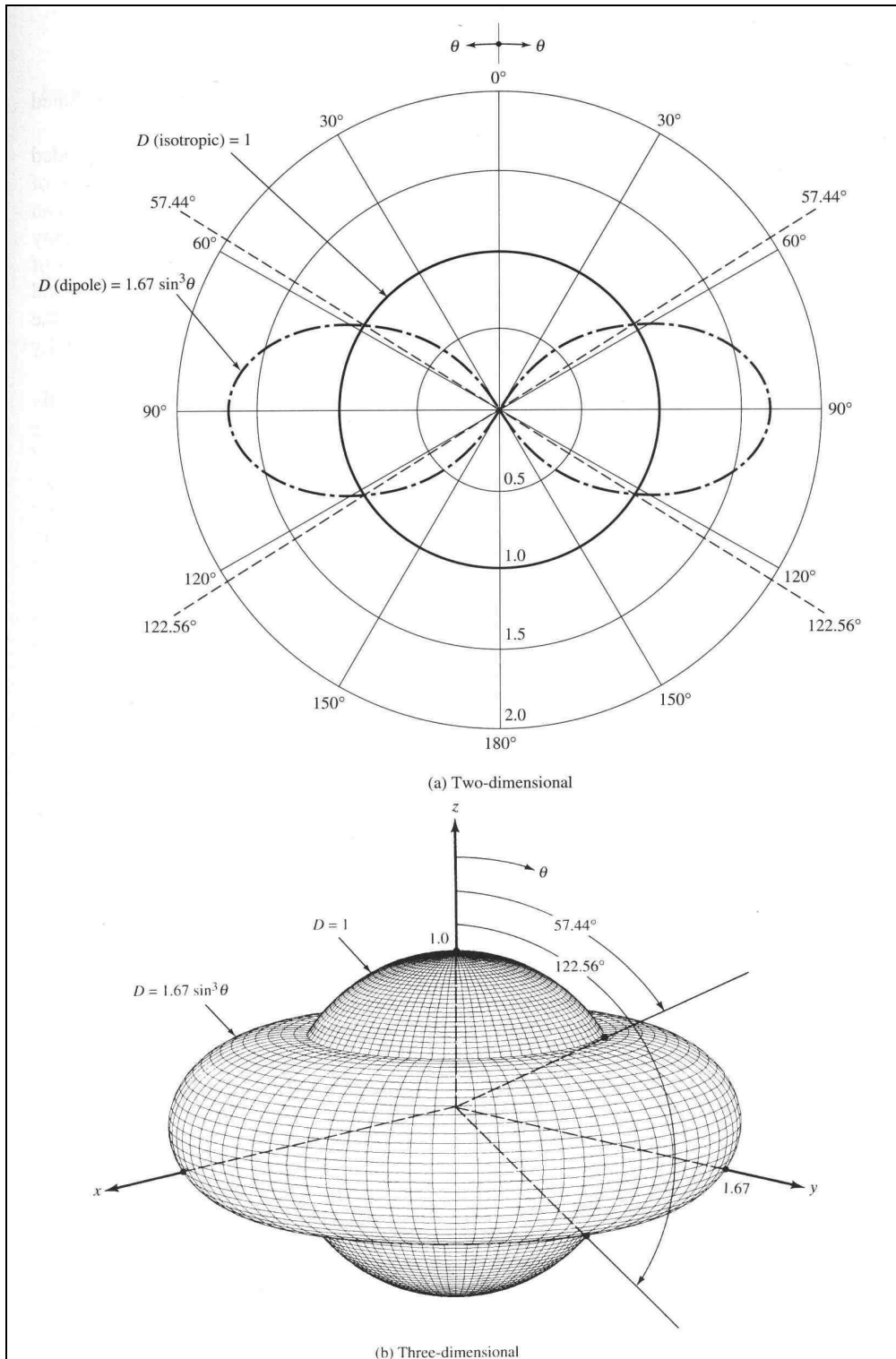
- A máxima directividade do dipolo ocorre em  $q=p/2$  e é de 1,67 ou 2,23 dB mais intenso do que um radiador isotrópico.

# Antenas



## Parâmetros fundamentais das antenas - 12

### ❖ Directividade



Diagramas de directividade a duas e a três dimensões para um dipolo de  $l/2$

## Antenas



### Parâmetros fundamentais das antenas - 13

#### ❖ Ganho

- O **ganho absoluto** de uma antena (numa dada direcção) é a razão entre a intensidade, numa dada direcção, e a intensidade de radiação que se obteria se a potência aceite pela antena fosse radiada isotropicamente.

$$\text{ganho} = \frac{\text{intensidade de radiação}}{\text{potência de entrada}} = 4p \frac{U(\mathbf{q}, f)}{P_{in}}$$

- O **ganho relativo** é a razão entre o ganho de uma antena e o ganho de uma antena tomada como referência. A potência de entrada deverá ser a mesma para ambas as antenas. Na maior parte dos casos a antena de referência é uma antena isotrópica sem perdas.

$$G = \frac{4pU(\mathbf{q}, f)}{P_{in}(\text{antena isotrópica sem perdas})}$$

- Quando a direcção não é mencionada, é implicitamente referida a direcção de máximo de radiação.
- Podemos relacionar a potência total radiada ( $P_{rad}$ ) com a potência fornecida à antena ( $P_{in}$ ):

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in}$$

onde  $e_{cd}$  é a eficiência de radiação da antena.

$$G(\mathbf{q}, f) = \frac{4pU(\mathbf{q}, f)}{P_{rad} / e_{cd}} = e_{cd} \left[ 4p \frac{U(\mathbf{q}, f)}{P_{rad}} \right] \Leftrightarrow G(\mathbf{q}, f) = e_{cd} D(\mathbf{q}, f)$$

- O valor máximo do ganho também está relacionado com o valor máximo da directividade:

$$G_0 = G(\mathbf{q}, f)_{m\acute{a}x} = e_{cd} D(\mathbf{q}, f)_{m\acute{a}x} = e_{cd} D_0$$

# Antenas



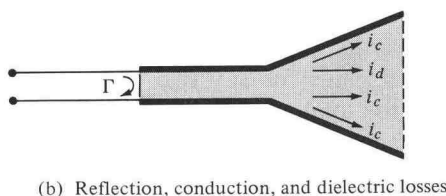
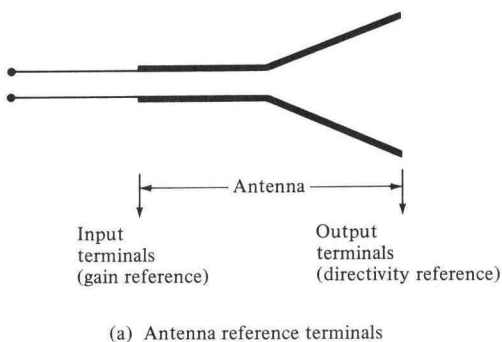
## Parâmetros fundamentais das antenas - 14

### ❖ Eficiência de uma antena

- A eficiência de uma antena *fornece uma medida das perdas nos terminais e na estrutura da antena*. Estas perdas podem ser devidas a:

reflexões devido à desadaptação entre a linha de transmissão e a antena;

perdas nos condutores e dielétrico.



- A eficiência pode ser escrita como:

$$e_0 = e_r e_c e_d$$

$e_0$  = eficiência total

$e_r$  = eficiência da adaptação =  $1 - r^2$

$e_c$  = eficiência do condutor

$e_d$  = eficiência do dielétrico

$r$  = coeficiente de reflexão de tensão

$$r = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

- Os valores de  $e_c$  e  $e_d$  são difíceis de calcular sendo normalmente medidos experimentalmente e mesmo assim o seu valor não pode ser medido separadamente.

$$e_0 = e_r e_{cd} = e_{cd} (1 - |r|^2)$$

- Onde  $e_{cd} = e_c e_d$  é a eficiência de radiação da antena.



### Parâmetros fundamentais das antenas - 15

- **Largura do feixe a meia potência**
  - É o ângulo (num plano que contém a direcção do máximo de um feixe) entre as duas direcções onde a intensidade de radiação é metade do valor máximo do feixe.

- **Eficiência do feixe**

$$EF = \frac{\text{potência transmitida/recebida dentro de um cone com ângulo } q}{\text{potência transmitida pela antena}}$$

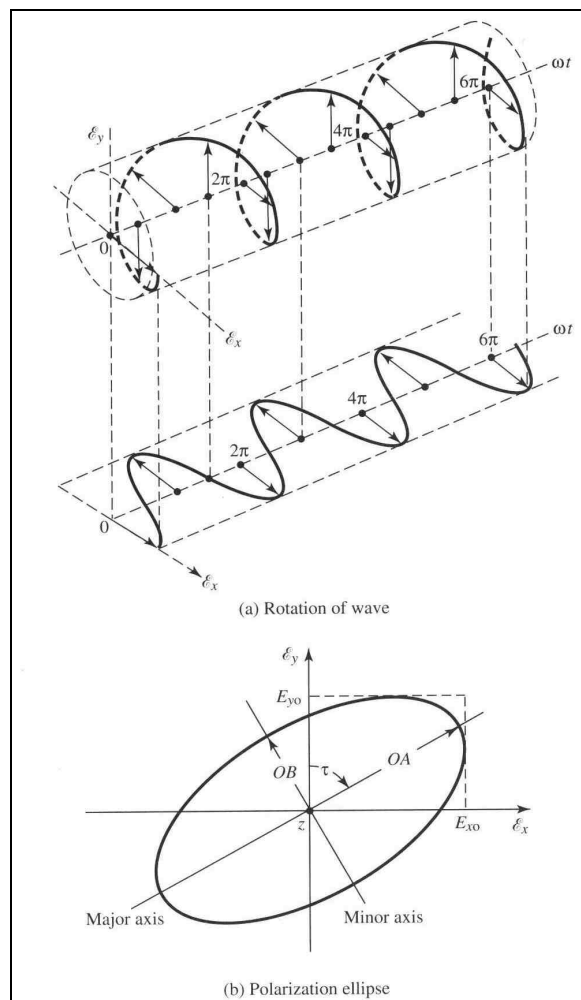
- **Largura de banda**
  - A largura de banda *pode ser considerada como o leque de frequências em ambos os lados de uma frequência central* (normalmente a frequência de ressonância de um dipolo) *onde as características de uma antena* (como a impedância de entrada, diagrama de radiação, largura de feixe, polarização, nível de lóbulos laterais, ganho, directividade, eficiência de radiação) *estão dentro de um valor aceitável em relação aos valores na frequência central.*
  - Para antenas de banda larga a largura de banda é normalmente exprimida como a relação entre a frequência mais alta e a frequência mais baixa. Por exemplo 10:1, indica que a frequência mais alta é 10 vezes maior que a frequência mais baixa.
  - Para antenas de banda estreita, a largura de banda é expressa como a percentagem da diferença de frequência (alta-baixa) a dividir pela frequência central.

# Antenas

## ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 16

### ➤ Polarização

- A polarização de uma antena é a polarização da onda electromagnética emitida/recebida pela antena.
- A polarização da energia radiada varia com a direcção ao centro antena, o que faz com que diferentes partes do diagrama de radiação possam ter polarizações diferentes.
- A polarização de uma onda electromagnética radiada é o modo como oscila o campo eléctrico ao longo da direcção de propagação.





### ↳ Parâmetros fundamentais das antenas - 17

#### ➤ Polarização

- A polarização pode ser classificada em linear, circular ou elíptica. Se o vector que descreve o campo eléctrico se encontra sobre uma linha, o campo tem polarização linear.
- Em geral, a figura que o campo eléctrico traça é a de uma elipse e neste caso diz-se que o campo tem uma polarização elíptica.
- As polarizações linear e circular são casos particulares da polarização elíptica.
- A figura pode ser traçada no sentido horário ou no sentido anti-horário. A rotação no sentido horário é chamada de *polarização direita* e a rotação no sentido anti-horário é chamada de *polarização esquerda*.

# Antenas

## ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 18

### ➤ Impedância de entrada

- A impedância de entrada é a impedância da antena aos seus terminais.

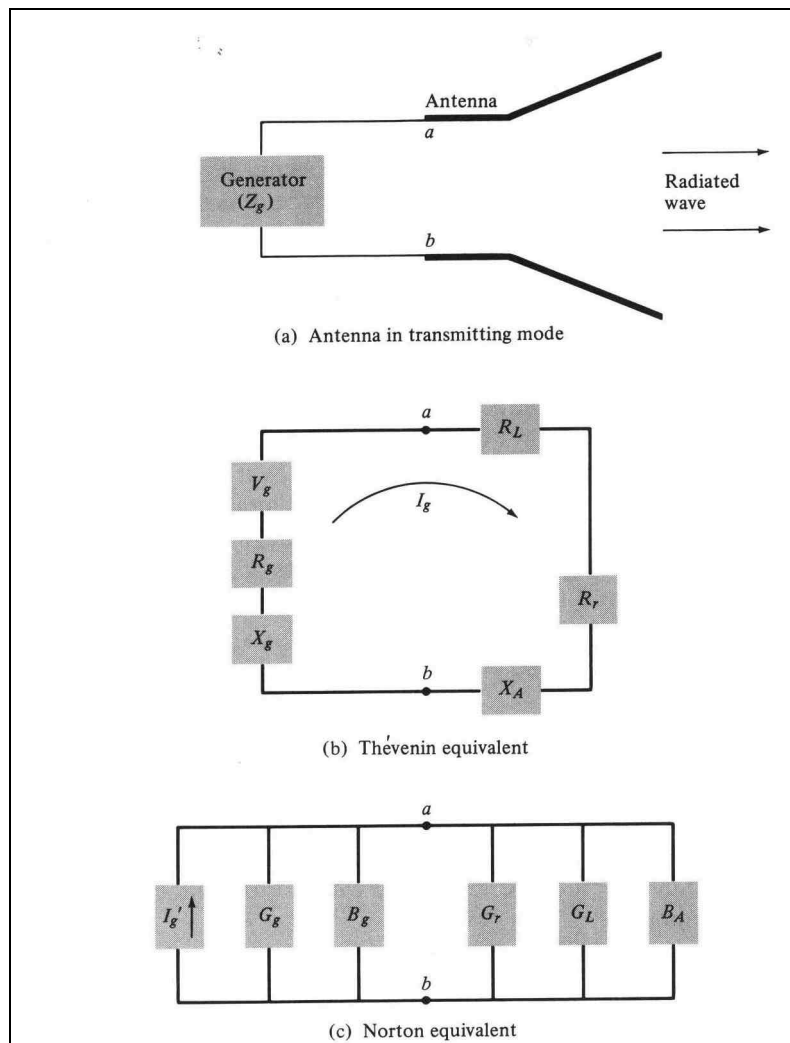
$$Z_A = R_A + jX_A$$

- A parte resistiva consiste em duas componentes:

$$R_A = R_r + R_L$$

$R_r$  = Resistência de radiação da antena

$R_L$  = Resistência de perdas da antena



## Antenas

### ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 19

#### ➤ Impedância de entrada

- Se a antena for ligada a um gerador com impedância interna  $Z_g$ .

$$Z_g = R_g + jX_g$$

- A corrente entregue à antena é dada por:

$$I_g = \frac{V_g}{Z_t} = \frac{V_g}{Z_A + Z_g} = \frac{V_g}{(R_r + R_L + R_g) + j(X_A + X_g)} \quad (A)$$

- O módulo da corrente será:

$$|I_g| = \frac{|V_g|}{\sqrt{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2}} \quad (A)$$

onde  $V_g$  é a tensão de pico do gerador. A potência entregue à antena para radiação é:

$$P_r = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_r = \frac{|V_g|^2}{2} \frac{R_r}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \quad (W)$$

- A potência dissipada em calor por efeito de Joule será:

$$P_r = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_L = \frac{|V_g|^2}{2} \frac{R_L}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \quad (W)$$

- A potência restante é dissipada na resistência interna do gerador:

$$P_r = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_g = \frac{|V_g|^2}{2} \frac{R_g}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \quad (W)$$

## Antenas

### ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 20

#### ➤ Impedância de entrada

- É entregue o máximo de potência à antena quando:

$$R_r + R_L = R_g \quad \text{e} \quad X_A = -X_g$$

- Para este caso obtemos:

$$P_r = \frac{|V_g|^2}{2} \left[ \frac{R_r}{4(R_r + R_L)^2} \right] = \frac{|V_g|^2}{8} \left[ \frac{R_r}{(R_r + R_L)^2} \right]$$

$$P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \left[ \frac{R_L}{(R_r + R_L)^2} \right]$$

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{8} \left[ \frac{R_g}{4(R_r + R_L)^2} \right] = \frac{|V_g|^2}{8} \left[ \frac{1}{(R_r + R_L)} \right] = \frac{|V_g|^2}{8R_g}$$

- A potência dissipada na antena será:

$$P_A = P_r + P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \left[ \frac{R_r + R_L}{(R_r + R_L)^2} \right] = \frac{|V_g|^2}{8} \left[ \frac{1}{(R_r + R_L)} \right] = P_g$$

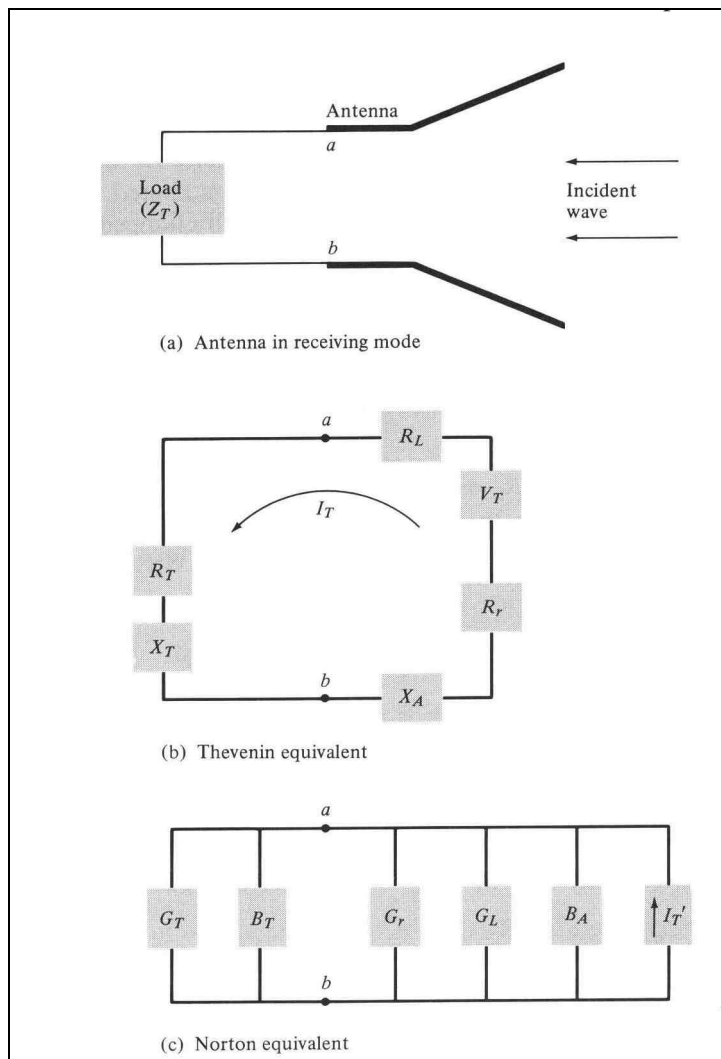
- Se tivermos uma adaptação conjugada, metade da potência fornecida pelo gerador é dissipada na sua resistência interna ( $R_g$ ) e metade é entregue à antena.
- Parte da potência entregue à antena é radiada e parte é dissipada em calor o que vai ter influência na eficiência da antena.
- Se a antena não tiver perdas ( $e_{cd}=1$ ), então metade da potência fornecida pelo gerador é radiada e a outra metade é dissipada em calor no gerador.

# Antenas

## ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 21

### ➤ Impedância de entrada

- No caso da antena estar a receber energia, as ondas incidentes induzem uma tensão  $V_t$  que é análoga a  $V_g$  quando a antena está a transmitir.



## Antenas

### ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 22

#### ➤ Impedância de entrada

- Seguindo um processo similar e considerando uma adaptação conjugada obtemos:

$$P_T = \frac{|V_T|^2}{8} \left[ \frac{R_r}{4(R_r + R_L)^2} \right] = \frac{|V_T|^2}{8} \left[ \frac{1}{(R_r + R_L)} \right] = \frac{|V_T|^2}{8R_T}$$

$$P_r = \frac{|V_T|^2}{2} \left[ \frac{R_r}{4(R_r + R_L)^2} \right] = \frac{|V_T|^2}{8} \left[ \frac{R_r}{(R_r + R_L)} \right]$$

$$P_L = \frac{|V_T|^2}{8} \left[ \frac{R_L}{(R_r + R_L)^2} \right]$$

- A potência induzida é:

$$P_C = \frac{1}{2} V_T I_T^* = \frac{1}{2} V_T \left[ \frac{V_T^*}{2(R_r + R_L)} \right] = \frac{|V_T|^2}{4} \left( \frac{1}{R_r + R_L} \right)$$

- A potência  $R_r$  é a potência que é radiada novamente. Se não houver perdas ( $R_L=0$ ) então metade da potência capturada é entregue à carga.
- Isto indica que para uma antena fornecer metade da potência recebida tem que radiar a outra metade.
- A impedância de entrada de uma antena é geralmente uma função da frequência. Isto quer dizer que a antena estará adaptada a uma linha de transmissão só numa certa largura de banda.
- A impedância de entrada de uma antena depende da sua geometria, do método de excitação, da sua proximidade a objectos, etc.

## Antenas

### ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 23

#### ➤ Eficiência de radiação

- A eficiência de radiação  $e_{cd}$  é a razão entre a potência radiada pela antena (potência dissipada em  $R_r$ ) e a potência entregue à antena (potência dissipada em  $R_r + R_L$ ).

$$e_{cd} = \frac{R_r}{R_r + R_L}$$

- Uma barra de metal com comprimento  $l$  e secção  $A$  tem uma resistência para corrente contínua dada por:

$$R_{dc} = \frac{1}{s} \frac{l}{A} \quad (W)$$

- Devido ao *efeito pelicular* a resistência aumenta com o aumento da frequência. A altas frequências a resistência pode ser escrita da forma:

$$R_{af} = \frac{l}{P} \sqrt{\frac{w m_0}{2s}} \quad (W)$$

$P$  = perímetro da secção lateral

$w$  = frequência angular

$m_0$  = permeabilidade magnética do vazio

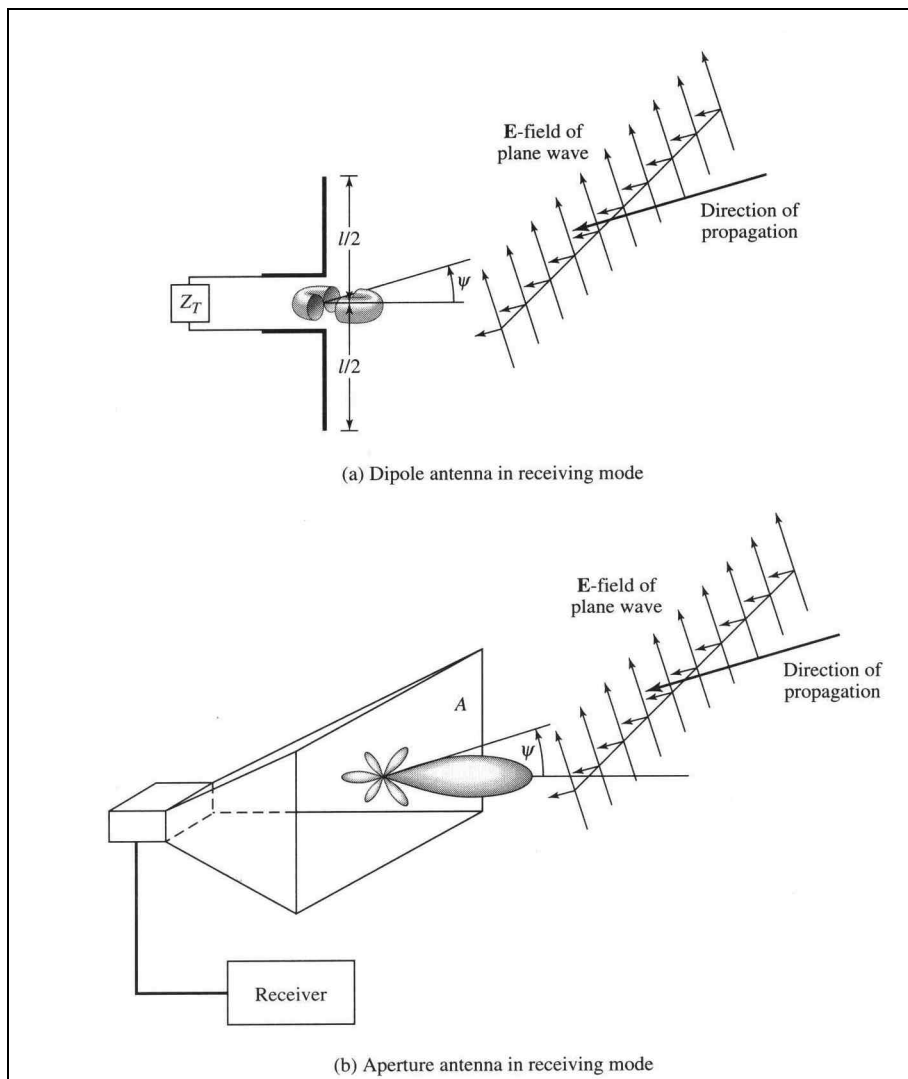
$s$  = condutividade do metal

# Antenas

## ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 24

### ➤ Comprimento efectivo

- Uma antena no seu modo de recepção (fio, corneta, abertura, agregado, etc.) é utilizada para capturar ondas electromagnéticas e para a extracção de potência a partir delas.





## ↪ Parâmetros fundamentais das antenas - 25

### ➤ Comprimento efectivo

- O comprimento efectivo de uma antena (quer seja uma antena linear ou uma abertura) *é uma quantidade que é usada para determinar a tensão induzida nos terminais em circuito aberto da antena quando uma onda incide na antena.*
- O vector comprimento efectivo  $l_e$  de uma antena é normalmente um quantidade vectorial complexa representada por:

$$l_e(q, f) = a_q l_q(q, f) + a_l l_f(q, f)$$

- O vector comprimento efectivo depende da direcção  $(q, f)$  da onda incidente.
- O comprimento efectivo de uma antena representa a antena no seu modo de recepção e de transmissão e particularmente útil para o cálculo da tensão em circuito aberto  $V_{OC}$  de uma antena receptora.

$$V_{OC} = E^i \cdot l_e$$

$V_{OC}$  = tensão aos terminais da antena em circuito aberto

$E^i$  = campo eléctrico incidente

$l_e$  = vector comprimento efectivo

## Antenas

### ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 26

#### ➤ Área efectiva

- A área efectiva ou abertura efectiva de uma antena é a relação entre a potência entregue pela antena e a densidade de fluxo de potência da onda incidente. Se a direcção não for especificada fica implícita a direcção de maior radiação.

$$A_e = \frac{P_T}{W_i}$$

$A_e$  = área efectiva (m<sup>2</sup>)

$P_T$  = potência entregue à carga (W)

$W_i$  = densidade de potência da onda incidente (W/m<sup>2</sup>)

- A área de difusão de uma antena é a relação entre a potência radiada novamente pela antena e a densidade de potência da onda incidente.

$$A_d = \frac{P_R}{W_i}$$

- A área de perdas de uma antena é a relação entre a potência dissipada pela antena e a densidade de potência da onda incidente.

$$A_L = \frac{P_L}{W_i}$$

- A área de captura de uma antena é a relação entre a potência total capturada pela antena e a densidade de potência da onda incidente. Normalmente a área de captura é igual à soma das outras três.

*Área de captura = área efectiva + área de difusão + área de perdas*

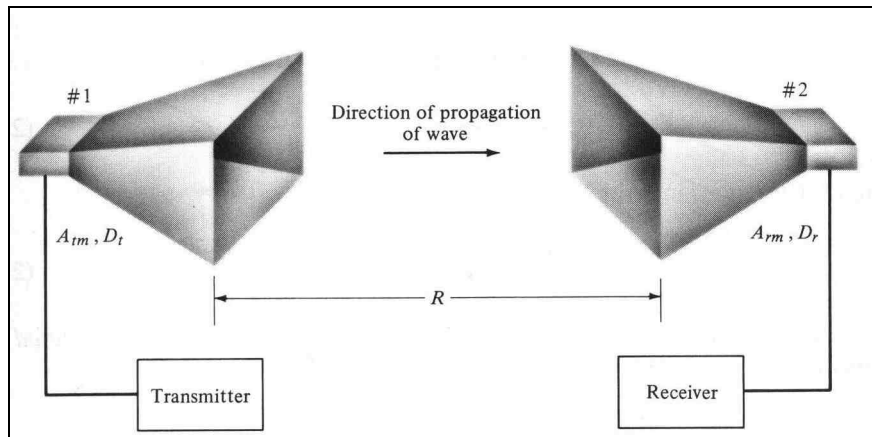
- A eficiência da abertura de uma antena é a relação entre a área efectiva máxima e área física da antena.

$$e_{ap} = \frac{A_{em}}{A_p} = \frac{\text{área efectiva máxima}}{\text{área física}}$$

## Antenas

### ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 27

#### ➤ Máxima directividade e máxima área efectiva



- Vamos utilizar a antena 1 como emissor e a antena 2 como receptor. As áreas efectivas e directividades de cada antena são designadas por  $A_1, A_1$  e  $D_2, D_2$ .
- Se a antena 1 for isotrópica, a densidade de potência radiada a uma distância  $R$  será:

$$W_0 = \frac{P_1}{4\pi R^2}$$

onde  $P_t$  é a potência radiada. Se em vez de uma antena isotrópica tivermos uma antena directiva:

$$W_1 = W_0 D_1 = \frac{P_1}{4\pi R^2} D_1$$

## Antenas

### ↩ Parâmetros fundamentais das antenas - 28

#### ➤ Máxima directividade e máxima área efectiva

- A potência recebida pela antena 2 e transferida para a carga será:

$$P_2 = W_1 A_2 = \frac{P_1 D_1}{4pR^2} A_2$$

$$D_1 A_2 = \frac{P_2}{P_1} (4pR^2)$$

- Se a antena 2 for utilizada como emissor e a antena 1 como receptor obtemos:

$$D_2 A_1 = \frac{P_2}{P_1} (4pR^2)$$

- Destas duas equações obtemos:

$$D_1 A_2 = D_2 A_1 \Leftrightarrow \frac{D_1}{A_1} = \frac{D_2}{A_2}$$

- Daqui concluímos que se aumentarmos a directividade de uma antena, aumentamos a sua área efectiva na mesma proporção. Podemos então escrever:

$$\frac{D_{01}}{A_{1m}} = \frac{D_{02}}{A_{2m}}$$

onde  $A_{1m}$ ,  $A_{2m}$  e  $D_{01}$ ,  $D_{02}$  são as maiores áreas efectivas e as maiores directividades das duas antenas.

- Se a antena 1 for isotrópica, então  $D_1=1$  e a sua área efectiva pode ser escrita como:

$$A_1 = \frac{A_2}{D_1}$$

## Antenas

### ↩ Parâmetros fundamentais das antenas - 29

#### ➤ Máxima directividade e máxima área efectiva

- Daqui se tira que a área efectiva de uma fonte isotrópica é igual à relação entre a área efectiva e a directividade de qualquer fonte.
- Vamos considerar que a antena 1 é um dipolo muito curto ( $l \ll \lambda$ ) cuja área efectiva ( $0,119l^2$ ) e máxima directividade (1,5) são conhecidas. A área efectiva de uma fonte isotrópica será então:

$$A_1 = \frac{A_2}{D_2} = \frac{0,119l^2}{1,5} = \frac{l^2}{4p}$$

- Podemos também escrever:

$$A_2 = D_2 A_1 = D_2 \frac{l^2}{4p} \quad \hat{=} \quad A = D \frac{l^2}{4p}$$

- A área efectiva máxima ( $A_{em}$ ) de uma antena está relacionada com a sua directividade máxima ( $D_0$ ) por:

$$A_{em} = \frac{l^2}{4p} D_0$$

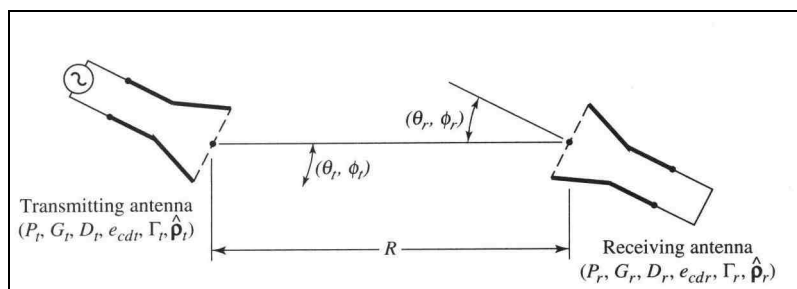
- Se este valor for multiplicado pela densidade de potência da onda incidente obtemos a potência máxima que pode ser entregue à carga.
- Se a antena tiver perdas a expressão da área efectiva máxima terá de ser adaptada:

$$A_{em} = e_{cd} \frac{l^2}{4p} D_0$$

# Antenas

## ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 30

### ➤ Equação de transmissão de Friis



- Considerando que a antena emissora é isotrópica e que a potência fornecida à antena para transmissão é  $P_t$ , então a densidade de potência  $W_0$  a uma distância  $R$  da antena é:

$$W_0 = e_t \frac{P_t}{4\pi R^2}$$

onde  $e_t$  é a eficiência de radiação da antena.

- Para uma antena não isotrópica, a densidade de potência numa direcção  $(q_t, f_t)$  será:

$$W_t = \frac{P_t G_t(q_t, f_t)}{4\pi R^2} = e_t \frac{P_t D_t(q_t, f_t)}{4\pi R^2}$$

onde  $G_t(q_t, f_t)$  é o ganho e  $D_t(q_t, f_t)$  é a directividade da antena emissora na direcção  $(q_t, f_t)$ .

- A área efectiva da antena receptora está relacionada com a eficiência  $e_r$  e a directividade  $D_r$  por:

$$A_r = e_r D_r(q_r, f_r) \frac{I^2}{4\pi}$$

## Antenas

### ➤ Parâmetros fundamentais das antenas - 31

#### ➤ Equação de transmissão de Friis

- A potência entregue pela antena receptora será:

$$P_r = A_r W_t = \left( e_r D_r(\mathbf{q}_r, \mathbf{f}_r) \frac{I^2}{4p} \right) \left( e_t \frac{P_t D_t(\mathbf{q}_t, \mathbf{f}_t)}{4pR^2} \right)$$

- A relação entre a potência emitida e a potência recebida será então:

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{I}{4pR} \right)^2 e_t D_t(\mathbf{q}_t, \mathbf{f}_t) e_r D_r(\mathbf{q}_r, \mathbf{f}_r) = \left( \frac{I}{4pR} \right)^2 G_t(\mathbf{q}_t, \mathbf{f}_t) G_r(\mathbf{q}_r, \mathbf{f}_r)$$

- Alinhando as duas antenas de modo a termos máximos de radiação e de recepção obtemos:

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{I}{4pR} \right)^2 G_{0t} G_{0r} \quad \text{Equação de transmissão de Friis}$$

- Esta equação relaciona a potência entregue por uma antena ( $P_r$ ) com a potência fornecida para transmissão noutra antena ( $P_t$ ).
- O termo  $(I/4pR)^2$  é chamado de *factor de perdas no espaço livre*.