

## Propagação e Radiação de Ondas Eletromagnéticas

2023/2024

### Antenas e Propagação

- 1) Considere uma ligação via rádio em que as antenas emissora e recetora são dipolos de Hertz com  $l = \lambda/50$  e distanciadas de  $r = 2$  km. Admita que as antenas estão alinhadas segundo a direcção de máxima radiação. Se a sensibilidade do recetor for de  $2 \times 10^{-3}$  V/m, calcule a corrente de alimentação mínima, a potência total radiada e a resistência de radiação do dipolo. *Resp:  $\theta = 90^\circ$ ;  $I_0 = 1.06$  A;  $P_r = 355.6$  mW,  $R_r = 0.316 \Omega$  (assume-se  $I_0$  em valor eficaz)*
- 2) Para a mesma antenna emissora do problema anterior calcule o campo disponibilizado à mesma distância de 2 km, mas para pontos de elevação de  $15^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  e  $75^\circ$  relativamente ao eixo de máxima radiação. *Resp:  $(1.932; 1.414; 1.000; 0.518) \times 10^{-3}$  V/m (respetivamente).*
- 3) Considere um dipolo de Hertz com  $l = 1$  m, percorrido por uma corrente de 1A de amplitude (valor eficaz) e à frequência de 15 MHz.
  - a. Na direcção de máxima radiação, qual é a distância para a qual se tem uma densidade de potência de  $13$  nW/m<sup>2</sup>? *Resp: 4.257 km*
  - b. Para que seja possível captar uma potência de  $1.25 \mu$ W nesse ponto, qual o ganho  $G_r$  (em dB) que deve ter a antenna recetora? *G=4.8 dB.*
- 4) Considere uma antenna fictícia cujo campo eléctrico eficaz na zona distante de radiação é dado por:  $E_\theta = \frac{K}{r} \sin(\theta) \sin(\phi)$  [V/m].
  - a. Esboce o diagrama de radiação nos planos  $x0y$ ,  $y0z$  e  $x0z$ .
  - b. Calcule a intensidade de radiação normalizada e o ângulo sólido de feixe. *Resp:  $U_n(\theta, \phi) = \sin^2(\theta) \sin^2(\phi)$ ;  $\Omega_a = \frac{4\pi}{3}$*
  - c. Determine a diretividade da antenna. *Resp: D=3*
  - d. Calcule a área efetiva máxima. *Resp:  $A_e = \frac{3\lambda^2}{4\pi}$  (m<sup>2</sup>)*
  - e. Calcule a potência radiada pela antenna. *Resp:  $P_r = \frac{K^2}{90}$  (W)*
- 5) A intensidade de radiação de uma antenna (W/sr) é dada por:

$$U(\theta, \phi) = \begin{cases} 10 \cos^a \theta & 0 < \theta < \frac{\pi}{2} \\ 0 & \frac{\pi}{2} < \theta < \pi \end{cases} \text{ com } a > 0$$

- a. Determine a potência radiada pela antenna, indicando todos os cálculos realizados. *Resp:  $P_r = \frac{20\pi}{a+1}$  (W)*
- b. Calcule o ângulo sólido de feixe  $\Omega_a$ . *Resp:  $\Omega_A = \frac{2\pi}{a+1}$  (sr)*
- c. Calcule o valor de  $a$  que corresponde a uma diretividade da antenna igual a 9 dBi. *Resp: a=2.97*

- d. Para o valor de  $\alpha$  encontrado na alínea anterior determine a largura de feixe a meia potência no plano XoZ. *Resp: HPBW=75°.*

## Modelos de Propagação

- 6) Considere uma ligação entre dois pontos distanciados  $D=6$  km.
- Diga o que entende por elipsoides de Fresnel?
  - A que distância das antenas é máximo o raio dos elipsoides de Fresnel? *Resp:  $d_1=3$  km.*
  - Calcule o raio do 1º elipsoide de Fresnel nas condições da alínea b) para 6 GHz, 12 GHz e 24 GHz. *Resp: 8.66 m; 6.12 m; 4.33 m*
  - A 1.0 km de uma das antenas existe um obstáculo com 5 m de altura sobre um terreno plano. Assumindo a ligação efetuada a 6 GHz calcule a altura mínima,  $h_{min}$ , do solo a que devem ser colocadas as antenas (assuma-as à mesma altura). *Resp: 11.5 m.*
- 7) O modelo de dois raios é uma abordagem simplificada de modelos de propagação que levam em conta o raio refletido no solo. Considere um emissor a  $h_t=12$  metros de altura e o recetor a  $h_r=2$  m de altura e uma frequência de 900 MHz. Calcule as perdas para uma distância 4 km e compare com as perdas em espaço livre. *Resp:  $L=116.5$  dB,  $L_{Friis}=103.6$  dB*
- 8) O modelo de Egli (1957) foi um modelo pioneiro pois permitia estimar as perdas medianas (percentil de 50%) de propagação em VHF (>30 MHz) e parte de UHF entre dois pontos em determinadas condições. Estime as perdas de propagação dadas pelo modelo de Egli assumindo a altura do transmissor  $h_t=12$  m, do recetor  $h_r=2$  m, uma frequência de 900 MHz a uma distância de 4 km. Compare-as com as que seriam obtidas em espaço livre. *Resp:  $L_{Egli}=143.6$  dB,  $L_{Friis}=103.56$  dB.*

## Formulário

$$\int \sin^2(x) dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin(2x)}{4}$$

$$\int \cos^a(x) \sin(x) dx = -\frac{\cos^{a+1}(x)}{a+1}$$

$$\int \sin^3(x) dx = \cos(x) \frac{(\cos^2(x) - 3)}{3}$$