

LFMP = 2(90 - \theta)

2.2
2.3 Uma hipotética antena isotrópica radia no espaço livre. A uma distância de 100 m da antena o campo elétrico total (E_θ) é medido como sendo 5 V/m. Determine a

- (a) densidade de potência (W_{rad})
- (b) potência radiada (P_{rad})

2.4 Determine a largura de feixe de meia potência (LFMP) e a largura de feixe entre nulos (LFEN), em radianos e em graus, para as seguintes intensidades de radiação normalizadas:

- (a) $U(\theta) = \cos \theta$
 - (b) $U(\theta) = \cos^2 \theta$
 - (c) $U(\theta) = \cos(2\theta)$
 - (d) $U(\theta) = \cos^2(2\theta)$
 - (e) $U(\theta) = \cos(3\theta)$
 - (f) $U(\theta) = \cos^2(3\theta)$
- (0 ≤ θ ≤ 90°,
0 ≤ φ ≤ 360°)

2.5 Determine a largura de feixe de meia potência (LFMP) e a largura de feixe entre nulos (LFEN), em radianos e em graus, para as seguintes intensidades de radiação normalizadas:

- (a) $U(\theta) = \cos \theta \cos(2\theta)$
 - (b) $U(\theta) = \cos^2 \theta \cos^2(2\theta)$
 - (c) $U(\theta) = \cos(\theta) \cos(3\theta)$
 - (d) $U(\theta) = \cos^2(\theta) \cos^2(3\theta)$
 - (e) $U(\theta) = \cos(2\theta) \cos(3\theta)$
 - (f) $U(\theta) = \cos^2(2\theta) \cos^2(3\theta)$
- (0 ≤ θ ≤ 90°,
0 ≤ φ ≤ 360°)

2.3 2.6 A máxima intensidade de radiação de uma antena com eficiência de 90% é de 200 mW/unidade de ângulo sólido. Determine a diretividade e o ganho (adimensional e em dB) quando

- (a) a potência de entrada é de 125,66 mW
- (b) a potência radiada é de 125,66 mW

2.7 A potência radiada por uma antena sem perda é 10 watts. As características direcionais da antena são representadas pelas seguintes intensidades de radiação

- (a) $U = B_0 \cos^2 \theta$ (watts/unidade de ângulo sólido)
- (b) $U = B_0 \cos^3 \theta$ (0 ≤ θ ≤ π/2, 0 ≤ φ ≤ 2π)

Para cada uma, determine

- (a) a máxima densidade de potência (em watts/metro quadrado) a uma distância de 1.000 m (admita que esta é uma distância de campo distante). Especifique o ângulo em que isso ocorre.
- (b) valores exato e aproximado para o ângulo sólido de feixe Ω_A .
- (c) diretividade, exata e aproximada, da antena (adimensional e em dB).
- (d) ganho, exato e aproximado, da antena (adimensional e em dB).

2.8 Você é um engenheiro de antenas e deve projetar uma antena de alta diretividade/ganho para um sistema de comunicação espacial operando em 10 GHz. As especificações da antena são tais que seu diagrama consiste basicamente em um lóbulo principal e, para simplificar, nenhum lóbulo secundário (caso exista algum lóbulo secundário, sua intensidade será muito pequena e você pode admitir que é desprezível ou nula). Pedese, ainda, que o diagrama seja simétrico no plano azimutal. Para atender aos objetivos do projeto o lóbulo principal do diagrama deve ter uma largura de feixe de meia potência de 10 graus. Para facilitar, suponha que o lóbulo principal da intensidade de radiação normalizada da antena é aproximado por

$$U(\theta, \phi) = \cos^n(\theta)$$

e existe somente no hemisfério superior (0 ≤ θ ≤ π/2, 0 ≤ φ ≤ 2π). Determine:

- (a) O valor de n (não necessariamente um inteiro) que atende as especificações do lóbulo principal. Mantenha cinco algarismos significativos em seus cálculos.
- (b) O valor exato da máxima diretividade da antena (adimensional e em dB).
- (c) O valor aproximado para a máxima diretividade da antena, segundo a fórmula de Kraus (adimensional e em dB).
- (d) O valor aproximado para a máxima diretividade da antena, segundo a fórmula de Tai & Pereira (adimensional e em dB).

2.5 2.9 Em radares de mapeamento do solo com alvos móveis, é desejável que a potência de eco recebida do alvo, de seção reta radar constante, seja independente da distância. Para tais aplicações, a intensidade de radiação desejada da antena é dada por

$$U(\theta, \phi) = \begin{cases} 1 & 0^\circ \leq \theta < 20^\circ \\ 0,342 \csc(\theta) & 20^\circ \leq \theta < 60^\circ \\ 0 & 60^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases} \quad 0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$$

Determine a diretividade (em dB) usando a fórmula exata.

2.10 Uma antena direcional tem larguras de feixe de meia potência de 30° e 35° em planos perpendiculares que se cruzam ao longo do máximo do feixe principal. Determine um valor aproximado para a máxima abertura efetiva da antena (em λ²) usando as fórmulas de (a) Kraus e (b) Tai & Pereira. Os lóbulos secundários são muito pequenos, e podem ser desprezados.

2.7 2.11 A intensidade de radiação normalizada de uma certa antena é dada por

- (a) $U = \sin \theta \sin \phi$
- (b) $U = \sin \theta \sin^2 \phi$
- (c) $U = \sin \theta \sin^3 \phi$
- (d) $U = \sin^2 \theta \sin \phi$
- (e) $U = \sin^2 \theta \sin^2 \phi$
- (f) $U = \sin^2 \theta \sin^3 \phi$

$U_{max} = 1$
 $P_{rad} = \int_0^\pi \int_0^\pi U \sin \theta d\theta d\phi = \pi$
 $D = \frac{4\pi \cdot U}{\pi} = 4 \rightarrow 10 \log_{10}(4) = 6,02 \text{ dB}$

A intensidade de radiação existe somente na região 0 ≤ θ ≤ π, 0 ≤ φ ≤ π, sendo nula no restante do espaço. Determine

- (a) o valor exato da diretividade (adimensional e em dB).
- (b) larguras de feixe de meia potência nos planos azimutal e de elevação (em graus).

2.12 Determine a diretividade (adimensional e em dB) para a antena do Exercício 2.11 usando

- (a) a fórmula aproximada de Kraus (2-26).
- (b) a fórmula aproximada de Tai & Pereira (2-30a).

2.13 Para o Exercício 2.5, determine o valor aproximado da diretividade (em dB) usando

- (a) a fórmula aproximada de Kraus.
- (b) a fórmula aproximada de Tai & Pereira.

2.14 A intensidade de radiação normalizada de uma antena tem simetria circular em φ e é representada por

$\theta(\theta) = \frac{(\text{rad}) \cdot 180}{\pi}$
 $U = \begin{cases} 1 & 0^\circ \leq \theta < 30^\circ \\ 0,5 & 30^\circ \leq \theta < 60^\circ \\ 0,1 & 60^\circ \leq \theta < 90^\circ \\ 0 & 90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases}$

- (a) Qual é a diretividade (em relação a uma fonte isotrópica) da antena (em dB)?
 (b) Qual é a diretividade (em relação a um dipolo infinitesimal) da antena (em dB)?

2.11

2.15 A intensidade de radiação de uma antena é dada por

$$U(\theta, \phi) = \cos^4 \theta \sin^2 \phi$$

para $0 \leq \theta \leq \pi/2$, $0 \leq \phi \leq 2\pi$ (ou seja, no semi-espaço superior). A intensidade de radiação é nula no semi-espaço inferior. Determine

- (a) o valor exato da diretividade (adimensional e em dB).
 (b) a largura de feixe de meia potência no plano de elevação (em graus).

2.12

2.16 A intensidade de radiação normalizada de uma antena é simétrica e pode ser aproximada por

$$U(\theta) = \begin{cases} 1 & 0^\circ \leq \theta < 30^\circ \\ \frac{\cos(\theta)}{0,866} & 30^\circ \leq \theta < 90^\circ \\ 0 & 90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases}$$

sendo independente de ϕ . Determine

- (a) o valor exato da diretividade integrando esta função.
 (b) o valor aproximado para a diretividade usando a fórmula de Kraus.

2-13

2.17 O ganho máximo de uma antena corneta é +20 dB, enquanto o ganho de seu primeiro lóbulo lateral é -15 dB. Qual é a diferença de ganho entre o máximo e o primeiro lóbulo lateral:

- (a) em dB.
 (b) como uma razão entre intensidades de campo.

2.14

2.18 A intensidade de radiação normalizada de uma antena é aproximada por

$$U = \sin \theta$$

onde $0 \leq \theta \leq \pi$, $0 \leq \phi \leq 2\pi$. Determine a diretividade usando

- (a) a fórmula exata.
 (b) as fórmulas de McDonald (2-33a) e Pozar (2-33b).
 (c) o programa de computador *Directivity* deste capítulo.

2.19 Repita o Exercício 2.18 para um dipolo de $\lambda/2$ cuja intensidade de radiação normalizada é aproximada por

$$U \simeq \sin^3 \theta$$

Compare o valor obtido com o de (4-91), ou seja, 1,643 (2,156 dB).

2.37 Um onda circularmente polarizada, viajando no sentido positivo da direção z , incide sobre uma antena circularmente polarizada. Determine o fator de perda de polarização PLF (adimensional e em dB) quando a antena e a onda estão polarizadas à direita (CW) e à esquerda (CCW).

2.38 O campo elétrico radiado por uma abertura retangular, situada na superfície terrestre e com o eixo z perpendicular à abertura, é dado por

$$\mathbf{E} = [\hat{\mathbf{a}}_\theta \cos \phi - \hat{\mathbf{a}}_\phi \sin \phi \cos \theta] f(r, \theta, \phi)$$

onde $f(r, \theta, \phi)$ é uma função escalar que descreve a variação do campo da antena. Admitindo que a antena receptora é linearmente polarizada ao longo da direção x , determine o fator de perda de polarização (PLF).

2.39 Uma onda circularmente polarizada, viajando no sentido positivo da direção z , é recebida por uma antena elipticamente polarizada cujas características de recepção perto do lóbulo principal são aproximadas por

$$\mathbf{E}_a \simeq [2\hat{\mathbf{a}}_x + j\hat{\mathbf{a}}_y] f(r, \theta, \phi)$$

Determine o fator de perda de polarização PLF (adimensional e em dB) quando a onda incidente é circularmente polarizada à

- (a) direita (CW).
- (b) esquerda (CCW).

Repita o problema quando

$$\mathbf{E}_a \simeq [2\hat{\mathbf{a}}_x - j\hat{\mathbf{a}}_y] f(r, \theta, \phi)$$

Em cada caso, qual é a polarização da antena? Há casamento de polarização entre a antena e a onda incidente?

2.40 Uma onda linearmente polarizada, que viaja no sentido negativo da direção z , tem um ângulo de inclinação (τ) de 45° . A onda incide sobre uma antena cujas características de polarização são dadas por

$$\hat{\rho}_a = \frac{4\hat{\mathbf{a}}_x + j\hat{\mathbf{a}}_y}{\sqrt{17}}$$

Determine o fator de perda de polarização PLF (adimensional e em dB).

2.41 Uma onda elipticamente polarizada, que viaja no sentido negativo da direção z , é recebida por uma antena circularmente polarizada cujo lóbulo principal está ao longo da direção $\theta = 0$. O vetor unitário que descreve a polarização da onda incidente é dado por

$$\hat{\rho}_w = \frac{2\hat{\mathbf{a}}_x + j\hat{\mathbf{a}}_y}{\sqrt{5}}$$

Determine o fator de perda de polarização PLF (adimensional e em dB) quando a onda que seria transmitida pela antena é polarizada à

(b) circularmente polarizada à esquerda.

2.43 Uma onda uniforme linearmente polarizada viaja no sentido positivo da direção z com uma densidade de potência de 10 miliwatts por metro quadrado e incide sobre uma antena circularmente polarizada à direita, cujo ganho é de 10 dB em 10 GHz. Determine

- (a) a máxima área efetiva da antena (em metros quadrados).
- (b) a potência (em watts) que será entregue a uma carga conectada diretamente nos terminais da antena.

2.44 Uma onda linearmente polarizada que viaja no sentido negativo da direção z incide sobre uma antena elipticamente polarizada (no sentido CW ou CCW). A razão axial da elipse de polarização da antena é 2:1 e seu eixo maior coincide com o eixo principal x . Determine o fator de perda de polarização (PLF) presumindo que a onda incidente é linearmente polarizada

- (a) na direção x .
- (b) na direção y .

2.45 Uma onda viajando perpendicularmente para fora da página (em direção ao leitor) é a resultante de duas ondas elipticamente polarizadas, uma com componentes de \mathbf{E} dadas por

$$\mathcal{E}'_y = 3 \cos \omega t$$

$$\mathcal{E}'_x = 7 \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

e a outra com componentes dadas por

$$\mathcal{E}''_y = 2 \cos \omega t$$

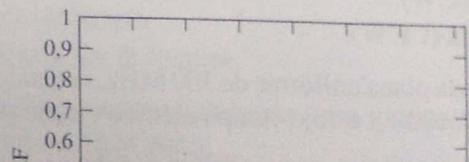
$$\mathcal{E}''_x = 3 \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

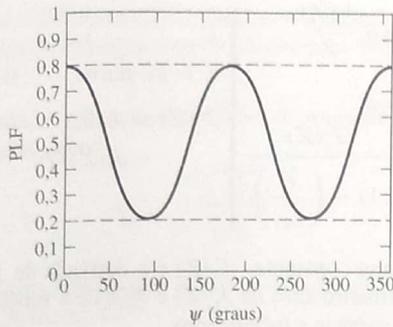
- (a) Qual é a razão axial da onda resultante?
- (b) O vetor \mathbf{E} resultante tem rotação no sentido horário ou anti-horário?

2.46 Uma antena linearmente polarizada e posicionada sobre o plano x - y é usada para determinar a razão axial da polarização de uma onda plana incidente que viaja no sentido negativo da direção z . A polarização da antena é descrita pelo vetor unitário

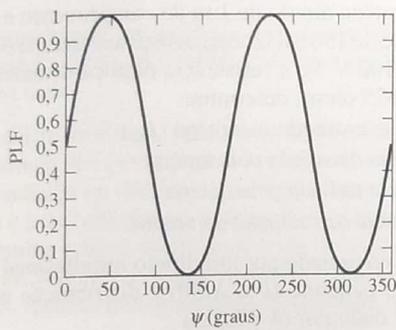
$$\hat{\rho}_a = \hat{\mathbf{a}}_x \cos \psi + \hat{\mathbf{a}}_y \sin \psi$$

onde ψ é um ângulo que representa a orientação da antena receptora no plano x - y . As curvas da figura mostram o fator de perda de polarização (PLF) versus a orientação da antena receptora, considerando três ondas planas incidentes. Para cada curva, determine a razão axial da onda plana incidente.

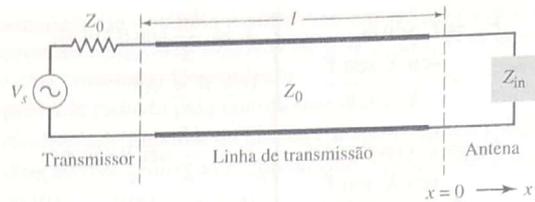




(b) PLF versus ψ



(c) PLF versus ψ



$$V(x) = A [e^{-jkx} + \Gamma(0)e^{+jkx}]$$

$$I(x) = \frac{A}{Z_0} [e^{-jkx} - \Gamma(0)e^{+jkx}]$$

V_s = intensidade da fonte de tensão
 $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$ = impedância de entrada da antena
 $Z_0 = R_0$ = impedância característica da linha de transmissão
 P_{aceita} = potência aceita pela antena $\{P_{aceita} = \text{Re}[V(0)I^*(0)]\}$
 $P_{disponível}$ = potência entregue a uma carga casada [isto é, $Z_{in} = Z_0^*$]

2.43 **2.51** A reatância de entrada de um dipolo filamentar infinitesimal de comprimento $\lambda/60$ e raio $a = \lambda/200$ é dada por

$$X_{in} \simeq -120 \frac{[\ln(\ell/2a) - 1]}{\tan(k\ell/2)}$$

Presumindo que o fio do dipolo é de cobre, cuja condutividade é de $5,7 \times 10^7$ S/m, determine, na frequência $f = 1$ GHz,

- (a) a resistência de perda
- (b) a resistência de radiação
- (c) a eficiência de radiação
- (d) TOE quando a antena está conectada a uma linha de transmissão de 50 ohms.

2.44 **2.52** Uma antena dipolo consiste em um fio condutor de seção reta circular e comprimento l . Admitindo que a distribuição de corrente é co-senoidal, ou seja,

$$I_z(z) = I_0 \cos\left(\frac{\pi}{l}z'\right) \quad -l/2 \leq z' \leq l/2$$

onde I_0 é uma constante, deduza uma expressão para a resistência de perda R_L , a qual é a metade de (2-90b).

2.45 **2.53** O diagrama de campo E de uma antena, independente de ϕ , varia na forma

$$E = \begin{cases} 1 & 0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \\ 0 & 45^\circ < \theta \leq 90^\circ \\ \frac{1}{2} & 90^\circ < \theta \leq 180^\circ \end{cases}$$

- (a) Qual é a diretividade desta antena?
- (b) Qual é a resistência de radiação da antena a uma distância de 200 m se o campo for igual a 10 V/m (rms) para $\theta = 0^\circ$, nesta mesma distância, e se a corrente terminal for de 5 A (rms)? Admita: $\eta = \frac{377}{\eta}$

2.54 O campo distante radiado por uma abertura retangular — com dimensões a e b , distribuição uniforme de abertura e situada na superfície terrestre — é dado por (veja a Tabela 12.1)

$$E \approx \hat{a}_\theta E_\theta + \hat{a}_\phi E_\phi$$

2.39 **2.47** Um dipolo de $\lambda/2$, com uma resistência de perda total de 1 ohm, é conectado a um gerador cuja impedância interna é $50 + j25$ ohms. Admitindo que a tensão de pico do gerador é de 2 V e que a impedância do dipolo, excluindo a resistência de perda, é $73 + j42,5$ ohms, determine a potência

- (a) fornecida pela fonte (real).
- (b) radiada pela antena.
- (c) dissipada pela antena.

2.48 A antena e o gerador do Exercício 2.47 são conectados por meio de uma linha de transmissão sem perda de 50 ohms e comprimento $\lambda/2$. Determine a potência

- (a) fornecida pela fonte (real).
- (b) radiada pela antena.
- (c) dissipada pela antena.

2.49 Considere uma antena com resistência de radiação de 48 ohms, resistência de perda de 2 ohms e reatância de 50 ohms e um gerador com tensão de circuito aberto de 10 V e impedância interna de 50 ohms. A antena é conectada ao gerador por meio de uma linha de transmissão de impedância característica de 100 ohms e comprimento $\lambda/4$.

- (a) Desenhe um circuito equivalente.
- (b) Determine a potência fornecida pelo gerador.
- (c) Determine a potência radiada pela antena.

2.50 Um transmissor, com uma impedância interna Z_0 (real), é conectado a uma antena por meio de uma linha de transmissão sem perda, de comprimento l e impedância característica Z_0 . Encontre uma expressão simples para a razão entre o ganho da antena e seu ganho realizado.

2.65 Repita o Exercício 2.63 para um dipolo de meia onda ($\ell = \lambda/2$), com distribuição senoidal de corrente. Veja o Exercício 2.62.

2.66 Mostre que o comprimento efetivo de uma antena filamentar pode ser escrito como

$$\ell_e = \sqrt{\frac{A_e |Z_r|^2}{\eta R_T}}$$

o que, para uma antena sem perda e máxima transferência de potência, se reduz a

$$\ell_e = 2 \sqrt{\frac{A_{em} R_r}{\eta}}$$

A_e e A_{em} representam, respectivamente, a abertura efetiva e a máxima abertura efetiva da antena, enquanto η é a impedância intrínseca do meio.

2.67 Uma antena tem uma máxima abertura efetiva de 2,147 m² na frequência de operação de 100 MHz. A antena não tem perda de condução ou dielétrica, sua impedância de entrada é de 75 ohms e está conectada a uma linha de transmissão de 50 ohms. Determine a diretividade do sistema de antena ("sistema" significa a inclusão de qualquer efeito de conexão à linha de transmissão). Admita que não há perda de polarização.

2.68 Um pequeno refletor parabólico, freqüentemente referido como um prato, é atualmente empregado como antena de TV para radiodifusão direta. Presumindo que a frequência de operação é de 3 GHz, o diâmetro da antena é de 1 m e sua eficiência é de 68%, determine

- (a) A área física do refletor (em m²).
- (b) A máxima área efetiva da antena (em m²).
- (c) A máxima diretividade (adimensional e em dB).
- (d) A máxima potência (em watts) que pode ser entregue à TV se a densidade de potência da onda que incide na antena for de 10 μwatts/m². Admita que não há perdas entre a onda incidente e o receptor (TV).

2.69 Uma onda incidente, com uma densidade de potência uniforme igual a 10⁻³ W/m², incide perpendicularmente sobre uma antena corneta sem perda, cuja diretividade é de 20 dB. Na frequência de 10 GHz, determine a máxima potência que pode ser entregue a um receptor ou carga conectada à antena corneta. Não há perdas entre a antena e o receptor ou carga.

2.70 Uma antena de abertura linearmente polarizada, com uma distribuição uniforme de campo em sua abertura, é usada como antena receptora. A área física de abertura da antena é 10 cm² e esta opera a 10 GHz. A antena é iluminada por uma onda plana circularmente polarizada, cuja densidade de potência incidente é 10 mwatts/cm². Supondo que a antena não tem perdas, determine

- (a) seu ganho (adimensional e em dB).
- (b) a máxima potência (em watts) que pode ser entregue a uma carga conectada à antena. Admita que não há perdas entre a antena e a carga.

2.71 A densidade de potência na região de campo distante radiada por uma antena helicoidal pode ser aproximada por

$$W_{rad} = W_{méd} \approx \hat{a}_r C_0 \frac{1}{r^2} \cos^4 \theta$$

A densidade de potência é simétrica em relação a ϕ e existe somente no hemisfério superior ($0 \leq \theta \leq \pi/2$, $0 \leq \phi \leq 2\pi$); C_0 é uma constante. Determine a

- (a) potência radiada pela antena (em watts).
- (b) diretividade máxima da antena (adimensional e em dB).
- (c) direção (em graus) ao longo da qual a diretividade máxima ocorre.
- (d) a máxima área efetiva (em m²), em 1 GHz.
- (e) a máxima potência (em watts) recebida pela antena em 1 GHz, assumindo que não há perdas, quando a antena é usada como receptora e a densidade de potência incidente é de 10 mwatts/m².

2.72 Para uma corneta retangular de banda X (8,2–12,4 GHz), cujas dimensões da abertura são 5,5 cm e 7,4 cm, determine a máxima abertura efetiva (em cm²) quando seu ganho (em relação a uma fonte isotrópica) for

- (a) 14,8 dB em 8,2 GHz.
- (b) 16,5 dB em 10,3 GHz.
- (c) 18,0 dB em 12,4 GHz.

2.73 Para o Exercício 2.54, calcule

- (a) a máxima área efetiva (em λ²) usando o programa de computador *Directivity* deste capítulo. Compare com o resultado obtido usando a equação dada na Tabela 12.1
- (b) as eficiências de abertura da parte (a). São elas muito menores ou maiores que a unidade, e por quê?

2.74 Repita o Exercício 2.73 para o Exercício 2.55.

2.75 Repita o Exercício 2.73 para o Exercício 2.56.

2.76 Repita o Exercício 2.73 para o Exercício 2.57. Compare os resultados com os da Tabela 12.2.

2.77 Repita o Exercício 2.73 para o Exercício 2.58. Compare os resultados com os da Tabela 12.2.

2.78 Repita o Exercício 2.73 para o Exercício 2.59. Compare os resultados com os da Tabela 12.2.

2.79 Em um radioenlace, uma antena de 30 dB, circularmente polarizada à direita, radia 5 W de potência em 2 GHz. A antena receptora tem um desacoplamento de impedância em seus terminais, o que origina uma TOE de 2. A antena receptora tem eficiência de cerca de 95% e um diagrama de campo dado, nas proximidades do máximo do feixe, por $\mathbf{E}_r = (2\hat{a}_x + j\hat{a}_y)F_r(\theta, \phi)$. A distância entre as duas antenas é de 4.000 km, e a antena receptora deve entregar 10⁻¹⁴ W ao receptor. Determine a máxima abertura efetiva da antena receptora.

2.80 A intensidade de radiação de uma antena pode ser aproximada por

$$U(\theta, \phi) = \begin{cases} \cos^4(\theta) & 0^\circ \leq \theta < 90^\circ \\ 0 & 90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases}$$

com $0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$

Determine a máxima abertura efetiva da antena (em m²) se a frequência de operação for $f = 10$ GHz.

2.81 Um satélite de comunicação está em órbita estacionária (síncrona) sobre a terra (admita uma altitude de 22.300 milhas terrestres). Seu transmissor gera 8,0 W. Suponha que a antena

transmissora é isotrópica. Seu sinal é recebido, na estação terrena da NASA em Goldstone, Califórnia, pelo parabolóide de rastreamento de 64 m de diâmetro. Presuma que nenhuma das duas antenas tem perdas resistivas, que há casamento de polarização entre elas e casamento de impedância nas duas. Em uma frequência de 2 GHz, determine a

- (a) densidade de potência (em watts/m^2) incidente na antena receptora.
 (b) potência recebida pela antena da estação terrena, cujo ganho é de 60 dB.

254 **2.82** Uma antena sem perdas ($e_{cd} = 1$) opera em 100 MHz e sua máxima abertura efetiva é de $0,7162 \text{ m}^2$ nesta frequência. A impedância de entrada desta antena é de 75 ohms, e ela está conectada a uma linha de transmissão de 50 ohms. Determine a diretividade (adimensional) desta antena se houver casamento de polarização.

255 **2.83** Uma antena dipolo de meio comprimento de onda ressonante, sem perdas ($e_{cd} = 1$), com diretividade de 2.156 dB e impedância de entrada de 73 ohms está conectada a uma linha de transmissão sem perdas de 50 ohms. Uma onda, com a mesma polarização que a antena, incide sobre a antena com densidade de potência de 5 W/m^2 na frequência de 10 MHz. Determine a potência disponível na extremidade da linha de transmissão.

2.84 Duas cornetas retangulares de banda X (8,2–12,4 GHz), cujas dimensões da abertura são 5,5 cm e 7,4 cm, têm, cada uma, um ganho de 16,3 dB (em relação a uma fonte isotrópica) em 10 GHz e são usadas como antenas transmissora e receptora. Admitindo que a potência de entrada é 200 mW, a TOE de cada uma é 1,1, a eficiência condutiva-dielétrica é de 100% e há casamento de polarização entre as antenas, determine a máxima potência recebida quando as cornetas são separadas por
 (a) 5 m (b) 50 m (c) 500 m

2.85 Antenas transmissora e receptora operando em 1 GHz com ganhos (em relação a uma fonte isotrópica) de 20 e 15 dB, respectivamente, são separadas por uma distância de 1 km. Determine a máxima potência entregue à carga quando a potência de entrada é 150 W. Suponha que

- (a) há casamento de polarização entre as antenas.
 (b) a antena transmissora é circularmente polarizada (à direita ou à esquerda) e a antena receptora, linearmente polarizada.

2.86 Duas antenas sem perdas, entre as quais há casamento de polarização, são alinhadas para máxima radiação de uma para outra e separadas por uma distância de 50λ . As antenas são casadas a suas respectivas linhas de transmissão e têm diretividades de 20 dB. Admitindo que a potência nos terminais de entrada da antena transmissora é de 10 W, determine a potência nos terminais da antena receptora.

2.87 Repita o Exercício 2.86 para duas antenas com diretividades de 30 dB e separadas por 100λ . A potência nos terminais de entrada da antena transmissora é de 20 W.

2.88 Antenas transmissora e receptora operando em 1 GHz com ganhos de 20 e 15 dB, respectivamente, são separadas por uma distância de 1 km. Determine a potência entregue à carga quando a potência de entrada é de 150 W. Assuma um PLF = 1.

263 **2.89** Uma série de enlaces repetidores de microondas operando em 10 GHz é usada para retransmitir sinais de televisão em um

vale rodeado por fileiras de montanhas íngremes. Cada repetidor consiste em um receptor, transmissor, antenas e equipamento associado. As antenas transmissora e receptora são cornetas idênticas, cada uma com ganho de 15 dB em relação a uma fonte isotrópica. Os repetidores são separados por uma distância de 10 km. Para uma relação sinal-ruído aceitável, a potência recebida em cada repetidor deve ser maior que 10 nW. A perda por descasamento de polarização não deve exceder 3 dB. Assuma cargas casadas e condições de propagação de espaço livre. Determine a mínima potência de transmissão que pode ser usada.

2.90 Um sistema de comunicação unidirecional, operando em 100 MHz, usa, como elementos transmissor e receptor, duas antenas dipolos verticais idênticas de $\lambda/2$, ressonantes, sem perdas e separadas por 10 km. Para que o sinal seja detectado pelo receptor o nível de potência em seus terminais deve ser de, pelo menos, $1 \mu\text{W}$. Cada antena é conectada ao transmissor e ao receptor por uma linha de transmissão sem perdas de 50 Ω . Presumindo que haja casamento de polarização entre as antenas e que elas estejam alinhadas de modo que a máxima intensidade de radiação de uma seja direcionada à máxima intensidade de radiação da outra, determine a mínima potência que deve ser gerada pelo transmissor para que o sinal seja detectado pelo receptor. Leve em consideração as perdas apropriadas entre transmissor e receptor.

2.91 Em um sistema de comunicação de microonda de longo alcance operando em 9 GHz, as antenas transmissora e receptora são idênticas e separadas por 10.000 m. Para atender a relação sinal-ruído do receptor a potência recebida deve ser de, pelo menos, $10 \mu\text{W}$. Admitindo que as duas antenas sejam alinhadas para máxima radiação de uma para a outra e que haja casamento de polarização entre elas, quais deveriam ser os ganhos (em dB) das antenas transmissora e receptora quando a potência de entrada da antena transmissora é de 10 W?

2.92 Um sistema de comunicação móvel sem fio operando em 2 GHz usa duas antenas, uma na estação-base e a outra na unidade móvel, separadas por 16 quilômetros. A antena transmissora, na estação-base, é circularmente polarizada, enquanto a antena receptora, na unidade móvel, é linearmente polarizada. O máximo ganho da antena transmissora é de 20 dB, enquanto o ganho da antena receptora é desconhecido. A potência de entrada da antena transmissora é de 100 watts e a potência no receptor, conectado à antena receptora, é de 5 nanowatts. Assumindo que as duas antenas estejam alinhadas de modo que o máximo de uma esteja direcionado ao máximo da outra e supondo que não há perdas de reflexão/descasamento no transmissor e no receptor, qual é o máximo ganho da antena receptora (adimensional e em dB)?

2.93 Uma corneta retangular de banda X, cuja abertura tem dimensões de 5,5 cm e 7,4 cm, tem ganho de 16,3 dB (em relação a uma fonte isotrópica) e é usada para transmitir e receber energia espalhada por uma esfera perfeitamente condutora de raio $a = 5\lambda$. Determine a máxima potência espalhada entregue à carga quando a distância entre a corneta e a esfera é de
 (a) 200λ (b) 500λ .

Admita que a potência de entrada é de 200 mW e que a seção reta radar é igual à seção reta geométrica.

265 **2.94** Uma antena de radar, usada tanto para transmissão como para recepção, tem ganho de 150 (adimensional) na frequência

de operação de 5 GHz. A antena transmite 100 kW e está alinhada para máxima radiação e recepção direcionais a um alvo, a 1 km de distância, que tem seção reta radar de 3 m^2 . Há casamento de polarização entre os sinais recebido e transmitido. Determine a potência recebida.

266 **2.95** Em um experimento para determinar a seção reta radar de um míssil de cruzeiro Tomahawk, um sinal de 1.000 W e 300 MHz foi transmitido em direção ao alvo, sendo a potência recebida medida como 0,1425 mW. A mesma antena, cujo ganho é 75 (adimensional), foi usada na transmissão e na recepção. Os dois sinais tinham a mesma polarização (PLF = 1), e a distância entre a antena e o míssil era de 500 m. Qual é a seção reta radar do míssil de cruzeiro?

2.96 Repita o Exercício 2.95 para um sistema de radar com sinal transmitido de 1.000 W e 100 MHz, sinal recebido de 0,01 W, antena de ganho 75 (adimensional) e separação entre antena e alvo de 700 m.

2.97 A máxima seção reta radar de um dipolo filamental ressonante de $\lambda/2$ é de aproximadamente $0,86\lambda^2$. Para um sistema

monoestático (ou seja, transmissor e receptor na mesma localização), determine a potência recebida (em W) se a potência transmitida for de 100 W, a distância entre o dipolo e as antenas transmissora e receptora de 100 m, o ganho de cada uma das antenas transmissora e receptora de 15 dB e frequência de operação de 3 GHz. Admita um fator de perda de polarização de -1 dB.

2.98 A temperatura efetiva de antena de uma antena apontada em direção ao zênite é de aproximadamente 5 K. Supondo que a temperatura da linha de transmissão (guia de onda) é de 22°C , determine a temperatura efetiva nos terminais do receptor quando a atenuação da linha de transmissão for de 4 dB/30 cm e seu comprimento for

- (a) 60 cm (b) 30 m.

Compare seu resultado com uma temperatura de ruído do receptor de cerca de 54 K.

2.99 Deduza (2-146). Comece com uma expressão que admita que a temperatura física e a atenuação da linha de transmissão não são constantes.