

Universidade Federal do Ceará

Sistemas de Comunicações Móveis

Primeiro Trabalho Computacional

Lucas Nogueira Ribeiro

Considere uma antena com padrão de irradiação de potência dado por

$$P(\theta) = \cos^n(\theta/2), \quad \theta \in [-\pi, \pi], \quad n \geq 0. \quad (1)$$

Sabe-se que o *half-power beamwidth* (HPBW) é definido como o intervalo angular formado pelos pontos de meia potência, i.e. $P(\theta) = 0.5$. O ângulo de meia potência pode ser expresso como

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(\sqrt[n]{0.5} \right) \quad (2)$$

A fórmula para o cálculo do HPBW é dada por

$$\text{HPBW} = 2\theta = 4 \cos^{-1} \left(\sqrt[n]{0.5} \right) \quad (3)$$

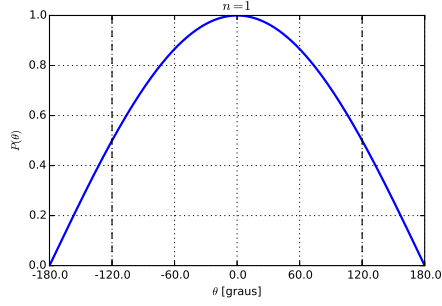
O cálculo do ganho desta antena pode ser feito através da fórmula de Kraus, que aproxima a diretividade D da antena através do seu HPBW. Esta fórmula é dada por [1]:

$$D = \frac{41253}{\text{HPBW}^2 [\text{graus}]} \quad (4)$$

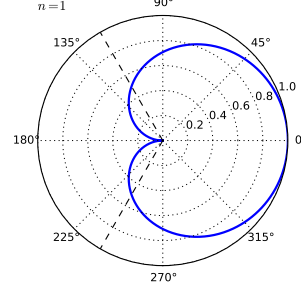
A relação entre o ganho G e a diretividade D de uma antena é dada pela equação $G = \eta D$, em que $\eta \in \mathbb{R}$ é a eficiência da antena. Considerou-se $\eta = 1$ neste trabalho. Portanto, $G = D$. O ganho em decibéis (dB) desta antena em relação à antena isotrópica é dado por

$$G [\text{dBi}] = 10 \log_{10} D = 10 \log_{10} \left\{ \frac{41253}{[\cos^{-1} (\sqrt[n]{0.5})]^2} \right\} \quad (5)$$

O padrão de irradiação de potência das antenas ($n = 1, \dots, 10$) foi mostrado juntamente com o seu ganho e HPBW nas Figuras 1 a 10. Observou-se que o ganho e o HPBW da antena aumentaram com o valor de n . Estes valores foram plotados em função do parâmetro n nas Figuras 11 e 12. Observou-se um aumento importante na diretividade de $n = 1$ até $n = 10$. A partir de então, o aumento na diretividade não foi tão importante. Como o parâmetro n normalmente está relacionado a fatores físicos da antena que podem aumentar o seu custo, observa-se, portanto, um compromisso entre o ganho da antena e o seu parâmetro n .

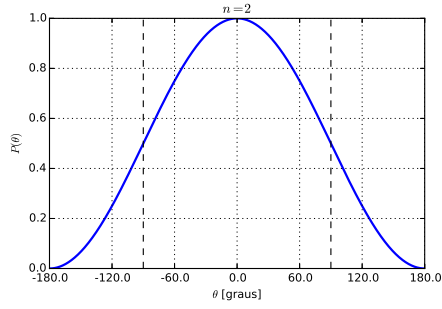


(a) Plot linear

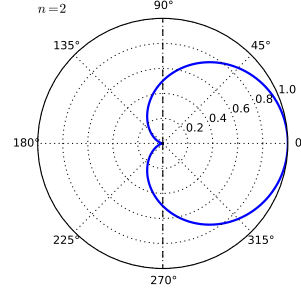


(b) Plot polar

Figure 1: Plots de $P(\theta)$ para $n = 1$. Ganho = -1.99 dBi, HPBW = 240.00 .

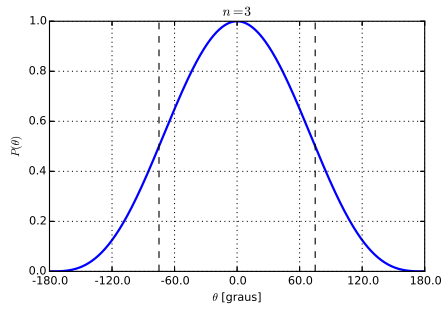


(a) Plot linear

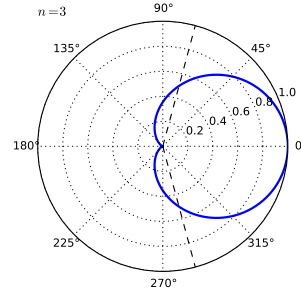


(b) Plot polar

Figure 2: Plots de $P(\theta)$ para $n = 2$. Ganho = 1.04 dBi, HPBW = 180.00 .

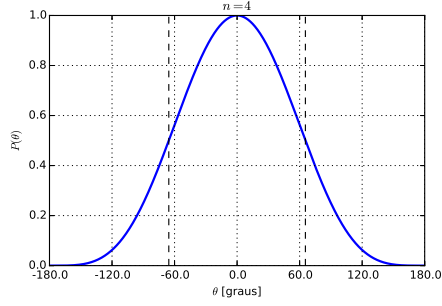


(a) Plot linear

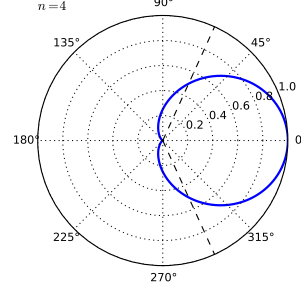


(b) Plot polar

Figure 3: Plots de $P(\theta)$ para $n = 3$. Ganho = 2.64 dBi, HPBW = 149.86 .

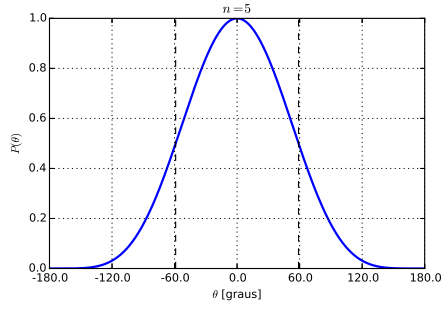


(a) Plot linear

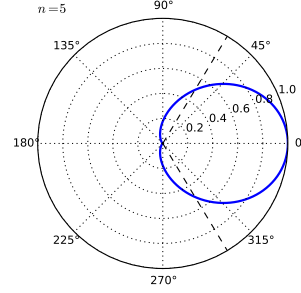


(b) Plot polar

Figure 4: Plots de $P(\theta)$ para $n = 4$. Ganho = 3.80 dBi, HPBW = 131.06.

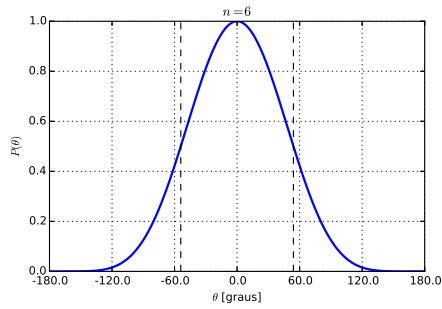


(a) Plot linear

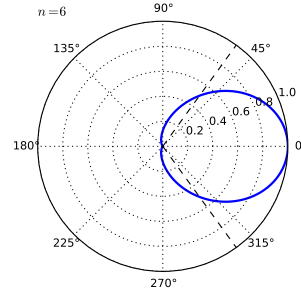


(b) Plot polar

Figure 5: Plots de $P(\theta)$ para $n = 5$. Ganho = 4.72 dBi, HPBW = 117.06.

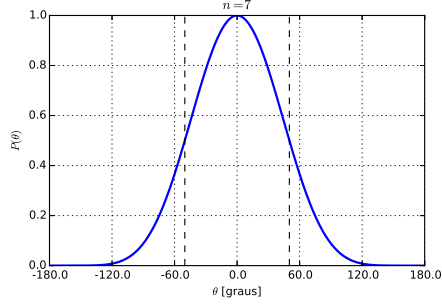


(a) Plot linear

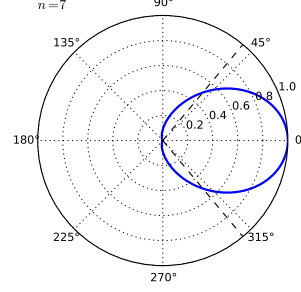


(b) Plot polar

Figure 6: Plots de $P(\theta)$ para $n = 6$. Ganho = 5.48 dBi, HPBW = 108.05.

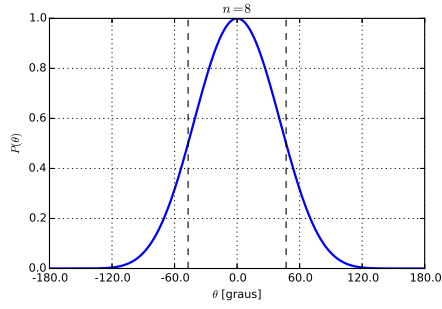


(a) Plot linear

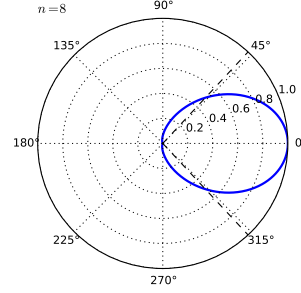


(b) Plot polar

Figure 7: Plots de $P(\theta)$ para $n = 7$. Ganho = 6.12 dBi, HPBW = 100.31.

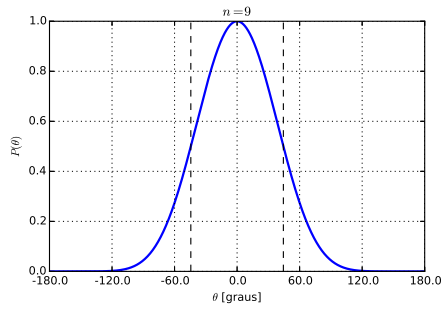


(a) Plot linear

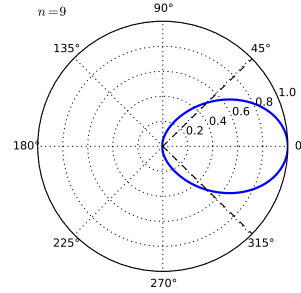


(b) Plot polar

Figure 8: Plots de $P(\theta)$ para $n = 8$. Ganho = 6.68 dBi, HPBW = 94.03.



(a) Plot linear



(b) Plot polar

Figure 9: Plots de $P(\theta)$ para $n = 9$. Ganho = 7.18 dBi, HPBW = 88.79.

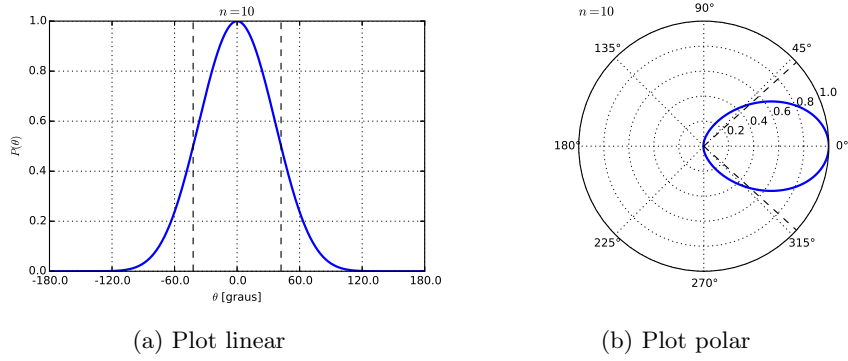


Figure 10: Plots de $P(\theta)$ para $n = 10$. Ganho = 7.63 dBi, HPBW = 84.34.

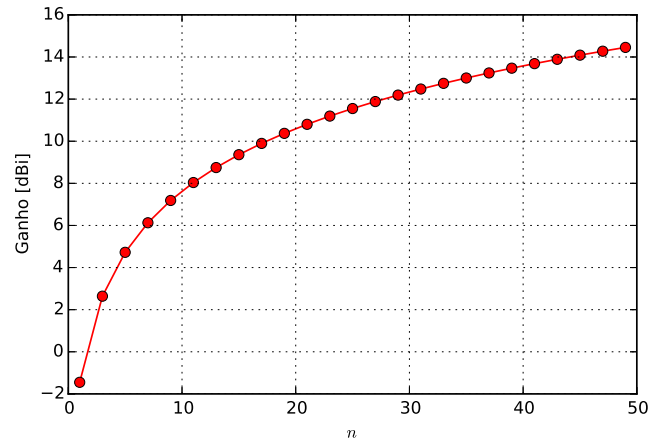


Figure 11: Ganho da antena em função do parâmetro n .

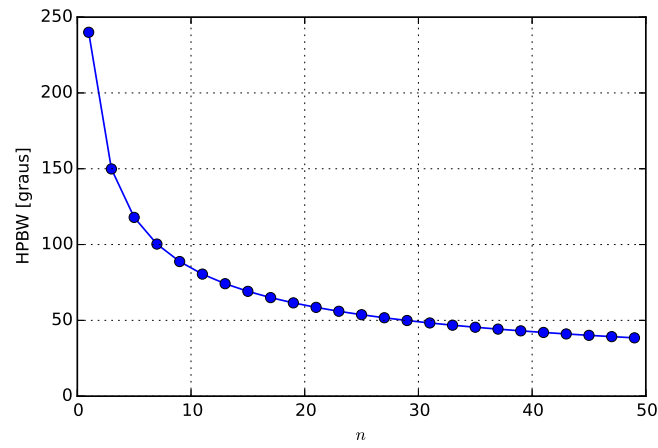


Figure 12: HPBW em função do parâmetro n .

Código fonte

O código fonte Python escrito para gerar as figuras deste trabalho é mostrado abaixo.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

p = lambda t, n : np.cos(t/2.0)**n # padrão de potência
g_kraus = lambda n: 10*np.log10(41253./(hpbw(n)**2.)) # Fórmula de Kraus
hpbw = lambda n: 4*np.math.degrees(np.math.acos((0.5)**(1./n)))

def plotDiagramaRadiacao(n):
    print 'Ganho - Kraus[{}]: {} [dBi]'.format(n, g_kraus(n))
    print 'HPBW[{}]: {} [graus]'.format(n, hpbw(n))
    print

    ang = np.radians(0.5*hpbw(n))
    theta = np.linspace(-np.pi, np.pi, 1000)
    theta_ticks = np.linspace(-np.pi, np.pi, 7)

    # plot linear
    plt.figure()
    plt.plot(theta, p(theta, n), linewidth=2)
    plt.xticks(theta_ticks, np.degrees(theta_ticks))
    plt.plot(ang*np.array([1, 1]), [0, 1], '--k')
    plt.plot(-ang*np.array([1, 1]), [0, 1], '--k')
    plt.xlabel('$\\theta$ [graus]')
    plt.ylabel('$P(\\theta)$')
    plt.title('$n={} $'.format(n))
    plt.grid()

    # plot polar
    plt.figure()
    plt.polar(theta, p(theta, n), linewidth=2)
    plt.plot(ang*np.array([1, 1]), [0, 1], '--k')
    plt.plot(-ang*np.array([1, 1]), [0, 1], '--k')
    plt.title('$n={} $'.format(n), loc='left') # parâmetro y afasta o title

    for n in np.arange(1,11):
        plotDiagramaRadiacao(n)

ganho_kraus = []
ganho_tp = []
meiapot = []

nrange = np.arange(1,51,2)

for n in nrange:
    ganho_kraus.append(g_kraus(n))
```

```

        meiapot.append(hpbw(n))

plt.figure()
plt.plot(nrange, ganho_kraus, '-ro')
plt.xlabel('$n$')
plt.ylabel('Ganho [dBi]')
plt.grid()

plt.figure()
plt.plot(nrange, meiapot, '-bo')
plt.xlabel('$n$')
plt.ylabel('HPBW [graus]')
plt.grid()

```

References

- [1] Balanis, Constantine A. *Antenna theory: analysis and design.*, Vol. 1. John Wiley & Sons, 2005.