

PTC3360 - Introdução a Redes e Comunicações

Rádio-enlaces - Parte I

EPUSP

Setembro 2025

Sumário

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - Endereçamento MAC e *switches*
 - Camada física: meios de transmissão
 - Rádio-enlaces

Sumário

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - Endereçamento MAC e *switches*
 - Camada física: meios de transmissão
 - Rádio-enlaces

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - Endereçamento MAC e *switches*
 - Camada física: meios de transmissão
 - Rádio-enlaces

Sumário

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física**
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - Endereçamento MAC e *switches*
 - Camada física: meios de transmissão**
 - Rádio-enlaces

Sumário

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - Endereçamento MAC e *switches*
 - Camada física: meios de transmissão
 - Rádio-enlaces

Irradiação em antenas

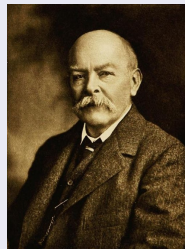
Potência eletromagnética irradiada

Potência irradiada média (saída de energia por tempo) através de uma superfície S :

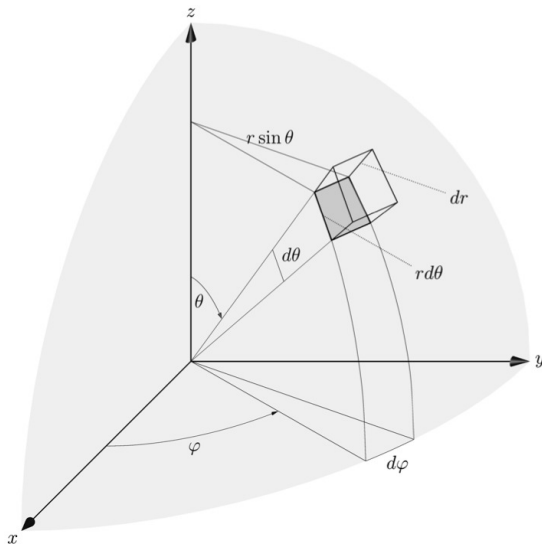
$$P = \int_S \mathbf{N} \cdot d\mathbf{S},$$

sendo \mathbf{N} o **vetor de Poynting médio**.

\mathbf{N} pode ser interpretado como a **densidade de potência irradiada** (W/m^2)



Lembrando das coordenadas esféricas...



Antenas

Antena ideal (sem perdas)

Antena: dispositivo que visa **irradiar** a potência injetada. Idealmente, a potência irradiada P é **igual** à injetada. Não há dissipação em calor.

Exemplo: antena ideal isotrópica

É uma antena ideal que gera densidade de potência média N com direção radial e de mesma intensidade em todas as direções:

$N = N_r \mathbf{u}_r$. A uma distância r da antena:

$$N_r = \frac{P}{4\pi r^2} \text{ W/m}^2$$

Diretividade

Mede como a densidade de potência irradiada se distribui em função de (θ, ϕ) . Toma como referência antenna isotrópica irradiando a mesma potência P e considera as densidades à mesma distância r . Na direção dada pelo ângulos θ e ϕ ,

$$D(\theta, \phi) = \frac{N_r}{N_r \text{ de antenna isotrópica}} = \frac{4\pi r^2 N_r}{P}$$

Note que:

- 1 Para antenna isotrópica $D(\theta, \phi) \equiv 1$
- 2 Para antenna não isotrópica, $D(\theta, \phi) > 1$ em algumas direções e $D(\theta, \phi) < 1$ em outras já que a potência irradiada P é sempre a mesma.

Exemplo

Exemplo: Diretividade do dipolo de meio comprimento de onda

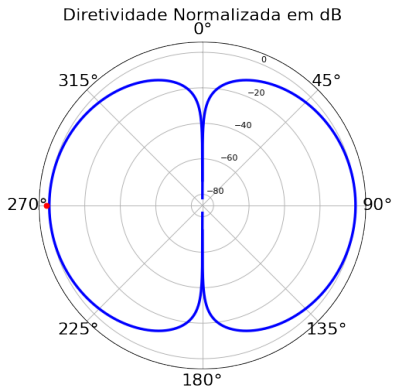
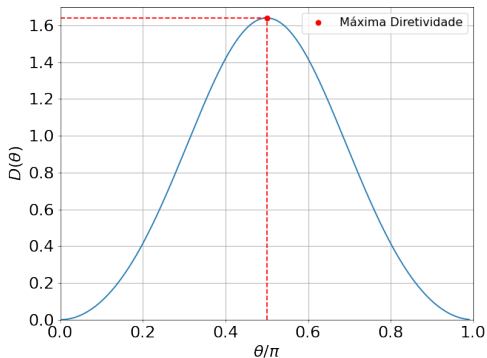
Para um dipolo de comprimento $\lambda/2$ com alimentação central, pode-se mostrar que o módulo da densidade de potência a uma distância r é dada por [Wentworth, 2006, p.251]

$$N_r = \frac{\eta}{4} \left[\frac{I_0 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\pi r \sin \theta} \right]^2$$

sendo I_0 o valor eficaz da corrente senoidal de entrada e η a impedância intrínseca do meio ($\eta \approx 120\pi \Omega$ para o ar). Além disso, a potência média irradiada por ela é $P \approx 73,2 I_0^2$.

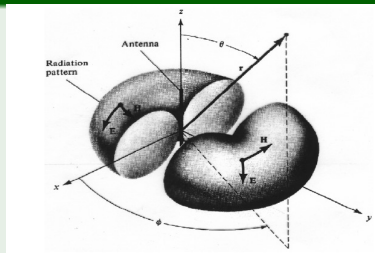
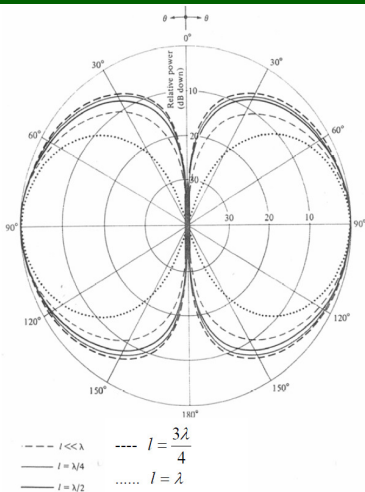
Determine a diretividade dessa antena em função de θ e ϕ e seu gráfico. Qual o valor e direção de máximo?

Exemplo - Gráficos feitos no Colab



Exemplo: diagramas de $D(\theta, \phi)/D_{max}$ de dipolos

Dipolos



- $D(\theta, \phi)$ não depende de ϕ
- São antenas **unidirecionais**: num plano (azimutal) radiam igualmente em todas as direções

Wentworth, S. (2006). *Fundamentos de Eletromagnetismo: Com Aplicações em Engenharia*. LTC.