

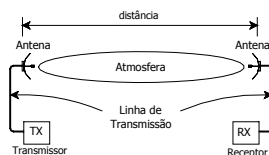
Antenas, Cabos e Rádio-Enlace

Uso permitido por Luciano Valente Franz
luciano@computech.com.br



Componentes essenciais para uma comunicação Wireless

- **Rádio Transmissor (Tx)**
- **Linha de Transmissão (LT)**
- **Antena Transmissora**
- **Meio de Propagação**
- **Antena Receptora**
- **Linha de Transmissão (LT)**
- **Rádio Receptor (Rx)**



CONCEITOS BÁSICOS – A ESCALA LOGARÍTMICA

• O que é o dB?

- O dB é uma escala usada para representar a relação entre duas potências.

$$dB = 10 \log \frac{P_{medida}}{P_{referencia}}$$

A unidade de referência pode ser W, mW, μV , ou até o ganho de uma antena...

Daí as derivações, como o dBW, dBm, dBi...

$$dBm = 10 \log \frac{P_{medida}(mW)}{1mW} \quad 10^{\frac{P(dBm)}{10}} = P(mW)$$

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS - OEM -

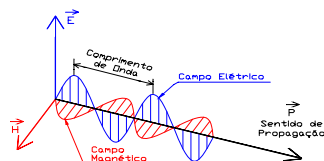
- **Conceito:** Perturbação física composta por um campo elétrico (E) e um campo magnético (H) variáveis no tempo, perpendiculares entre si, capaz de se propagar no espaço.

Frequência: número de oscilações por unidade de tempo (Hz).

$$\lambda_{vacuo/ar}(m) = \frac{300}{f(MHz)}$$

Velocidade de propagação: depende do meio onde a onda se propaga. A velocidade máxima de uma OEM é a velocidade da luz, 300.000 km/s, no vácuo.

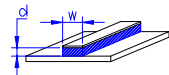
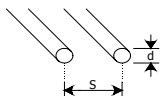
Comprimento de onda: distância percorrida pela onda durante um ciclo. É definido pela velocidade de propagação dividida pela frequência.



LINHAS DE TRANSMISSÃO

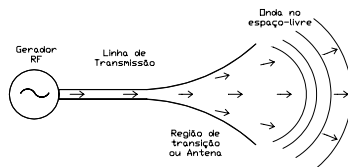
- É uma linha com dois ou mais condutores isolados por um dielétrico que tem por finalidade fazer com que uma OEM se propague de modo guiado.
- Esta propagação deve ocorrer com a menor perda possível.

As linhas de transmissão podem ser construídas de diversas maneiras, cabos paralelos, pares trançados, microstrip, cabos coaxiais, guias de onda, etc.

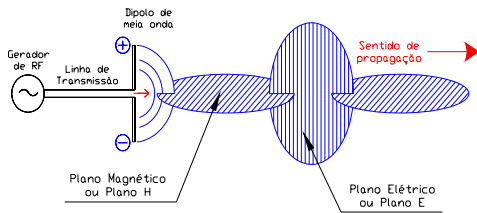


5 - Antenas

- A abertura física de uma LT paralela que transporta uma OEM, proporciona uma variação senoidal de potencial (Volts) e de corrente (Amperes) nos condutores, provocando o aparecimento de linhas de campo magnético e elétrico variáveis em torno do dipolo formado, dando origem a uma onda eletromagnética que se propaga.



Polarização de uma antena



- E , em física, é o símbolo da intensidade de campo elétrico
- H , em física, é o símbolo da intensidade de campo magnético

Planos de um diagrama de irradiação

O diagrama de irradiação de uma antena, para ser melhor visualizado, é normalmente representado pela distribuição de energia nos planos elétrico e magnético, ditos Plano E e Plano H.

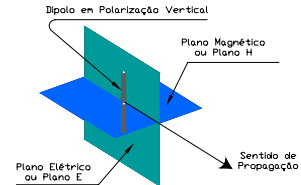


Diagrama de Irradiação

Diagrama de irradiação é representação gráfica da forma como energia eletromagnética se distribui no espaço.



O diagrama pode ser obtido tanto pelo deslocamento de uma antena de prova em torno da antena que se está medindo, como pela rotação desta em torno do seu eixo, enviando os sinais recebidos a um receptor capaz de discriminar com precisão a frequência e a potência recebidas

Diagrama de Irradiação de Uma Antena

- Os resultados obtidos são geralmente normalizados. Ao máximo sinal recebido é dado o valor de 0 dB, facilitando a interpretação dos lóbulos secundários e relação frente-costas.

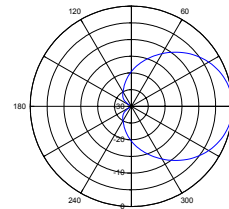
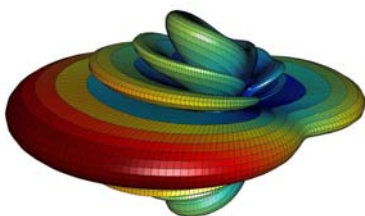


Diagrama de irradiação, a curva em azul representa energia irradiada em cada direção em torno da antena.

Formas de Visualização dos diagramas de Radiação

♦ diagrama de irradiação na forma tridimensional

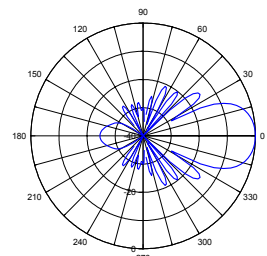
Permite-nos visualizar a distribuição espacial de toda a potência envolvida.



Formas de Visualização dos diagramas de Radiação

♦ diagrama de irradiação na forma polar

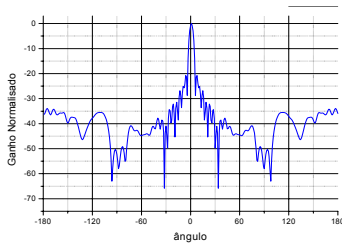
Fáceis de interpretar, os lóbulos são identificados pelo ângulo e amplitude. O lóbulo principal define os ângulos de $\frac{1}{2}$ potência e o máximo ganho. A análise correta da antena necessita-o em dois planos, vertical e horizontal ou Plano E e Plano H.



Formas de Visualização dos diagramas de Radiação

♦ diagrama de irradiação na forma retangular

- Usual nas antenas de alto ganho, onde a pequena abertura do lóbulo principal compromete a interpretação do diagrama de irradiação polar.



Ângulos de meia potência (-3dB)

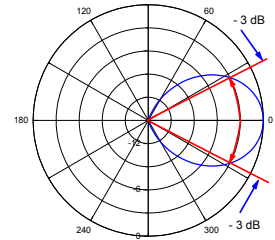
Os ângulos de meia potência são definidos pelos pontos no diagrama onde a potência irradiada equivale à metade da irradiada na direção principal.

Estes ângulos definem a abertura da antena no plano horizontal e no plano vertical.

-3 dB = 50% Potência

No exemplo ao lado temos:

Ângulo de -3dB = 55°



Diretividade de uma antena

- É a relação entre o campo irradiado pela antena na direção de máxima irradiação e o campo que seria gerado por uma antena isotrópica que recebesse a mesma potência.
- A diretividade de uma antena define sua capacidade de concentrar a energia irradiada numa determinada direção.

$$D = \frac{E_{\text{máx}}}{E_{\text{ISO}}}$$

$E_{\text{máx}}$: Energia da antena em estudo.

E_{ISO} : Energia da antena isotrópica.

Ganho

- O ganho pode ser entendido como o resultado da diretividade menos as perdas.

Matematicamente, é o resultado do produto da eficiência pela diretividade.

$$G = \eta \cdot D$$

G = Ganho

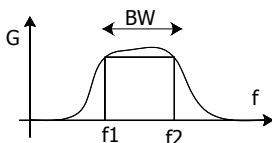
D = Diretividade

η = Eficiência

A eficiência de uma antena, diz respeito ao seu projeto eletromagnético como um todo, ou seja, são todas perdas envolvidas (descasamento de impedância, perdas em dielétricos, lóbulos secundários...). Normalmente está na faixa de 90% a 95%.

Largura de banda (BW)

- Largura de banda é o intervalo de frequência a qual a antena deve funcionar satisfatoriamente, dentro das normas técnicas vigentes a sua aplicação.



Espera-se que uma antena possua todas as características especificadas pelo fabricante, iguais ao longo de sua banda de operação, ganho, impedância, VSWR, RFC, Nível de lóbulos secundários, etc.

dBd versus dBi

- O radiador isotrópico é um modelo idealizado, seu diagrama de irradiação é uma esfera com densidade de potência uniforme.
- Um dipolo de meia onda em espaço livre apresenta um ganho de 2.15 dBi, ou seja, possui uma capacidade de concentrar 2.15 dB a mais na sua direção de máxima irradiação quando comparado à antena isotrópica.
- Ao referenciar-se o ganho de uma antena temos:

- Ao radiador isotrópico usa-se a unidade dBd.

- Ao dipolo de meia onda, usa-se a unidade dBi.

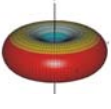
$$dBi = dBd + 2,15$$

Ganho (dipolo $\lambda/2$) = 0 dBd
Ganho (dipolo $\lambda/2$) = 2.15 dBi

Antenas - Diagramas de irradiação típicos algumas estruturas usuais

Tipo de Antena	Diagrama Tridimensional	Diagrama Vertical ou de Elevação	Diagrama Horizontal ou de Azimute
			
Irradiador Isotrópico	G = 0 dBi G = - 2,15 dBd	Plano Elétrico	Plano Magnético

Antenas - Diagramas de irradiação Dipolo de Meia onda

Tipo de Antena	Diagrama Tridimensional	Diagrama Vertical ou de Elevação	Diagrama Horizontal ou de Azimute
			
Dipolo de Meia Onda	G = 2,15 dBi G = 0 dBd	Plano Elétrico	Plano Magnético

Omnidirecional de 6 dipolos

Tipo de Antena	Diagrama Tridimensional	Diagrama Vertical ou de Elevação	Diagrama Horizontal ou de Azimute
			
Omnidirecional de seis dipolos	G = 9,5 dBi G = 7,35 dBd	Plano Elétrico	Plano Magnético

Cálculo da potência efetivamente irradiada (ERP)

$$ERP = P_T(dB) + G_T(dB) - p(dB)$$

A Potência ERP é a potência realmente irradiada pela antena.

- $P_T(dB)$: Potência em dB do transmissor
- $G_T(dB)$: Ganho em dBi da antena
- $P(dB)$: perda por atenuação do cabo coaxial

Tipos de Antenas

- ♦ Yagi
- ♦ Painei Setorial
- ♦ Omnidirecional
- ♦ Parábolas
- ♦ Antenas Patch
- ♦ Log – Periódicas
- ♦ Helicoidal

Yagis

- ♦ Yagis
- Conceito: Antena direcional composta de um refletor (simples ou grade) um dipolo (simples ou dobrado) e vários diretores.
- Pode ser instalada na pol. vertical ou horizontal.
- As yagis de frequências acima de 1.5GHz necessitam o uso de radome, para proteção da água da chuva.
- São utilizadas geralmente em sistemas ponto a ponto, porém as yagis de três elementos possuem um ângulo de abertura de até 120 graus, possibilitando seu uso em sistemas ponto - multiponto.

Número de elementos	Ganhos Médios
3 elementos	6 – 8 dBi
7 elementos	9,5 – 12 dBi
11 elementos	13 – 15 dBi
25 elementos ou mais	15,5 – 17,2 dBi



Yagi de 5 Elementos e Grade Refletora

Tipo de Antena	Diagrama Tridimensional	Diagrama Vertical ou de Elevação	Diagrama Horizontal ou de Azimute
Yagi de 5 elementos	G = 8 dBi G = 5,85 dBd	Plano Magnético	Plano Elétrico

Painéis Setoriais

- Definição: Antena composta um conjunto de dipolos alimentados em fase, e uma chapa refletora.
- Utilização: para enlaces ponto – multiponto, onde o ângulo de abertura da antena, atende a uma determinada região
- O ganho e o ângulo de abertura de um painel depende do número de dipolos, das dimensões da chapa refletora, da distância entre os dipolos e sua eficiência na alimentação dos dipolos, que muitas vezes, torna-se bastante complexa.
- Podem ser construídos com dipolos na pol. vertical, horizontal, ou 45 graus.

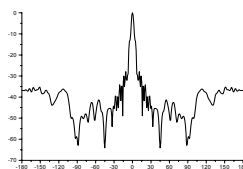


Painel Setorial de 4 dipolos na vertical

Tipo de Antena	Diagrama Tridimensional	Diagrama Vertical ou de Elevação	Diagrama Horizontal ou de Azimute
Painel Setorial Polarização Vertical	G = 12,5 dBi G = 10,35 dBd	Plano Magnético	Plano Elétrico

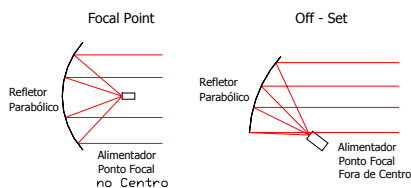
Parábolas

- Consiste em uma antena (alimentador) que ilumina um refletor parabólico que reirradia essa energia na direção de máximo ganho.
- Seu ganho é elevado, logo apresenta pequeno ângulo de abertura.
- São utilizados para enlaces de grandes distâncias.
- Sua polarização em geral é linear e o ajuste é obtido através do giro de 90 graus do alimentador e do refletor. Nas parabólicas sólidas, gira-se apenas o alimentador.



Parábolas

- As antenas parabólicas podem ter refletores do tipo sólido ou vazado. Quanto a sua posição de alimentação, pode ser do tipo focal point ou off-set.
- Existem vários tipos de alimentação, mas o fundamental é que o diagrama de irradiação do alimentador coincida com as bordas do refletor.



Relação de ganho para uma refletor parabólico

- Ganho teórico máximo para um refletor parabólico:

$$G(dB) = 10 * \log \left(\frac{4\pi \cdot A}{\lambda^2} \right)$$

- Ganho real:

$$G(dB) = 10 * \log \left(\frac{4\pi \cdot A}{\lambda^2} * \eta \right)$$

G = Ganho em dBi

A = Área do refletor em m²

λ = Comp. Onda em metros

η = Rendimento



Log - Periódicas

- Conceito: Antena utilizada em serviços onde necessitam uma grande largura de banda (BW). Consiste em vários dipolos de tamanhos e distâncias diferentes, onde no final, o conjunto ressona em uma largura de banda maior.
- Possuem um ganho inferior às yagis, quando comparadas pelo tamanho.
- São utilizadas em enlaces ponto a ponto.
- Seus diagramas de radiação são similares às yagis.
- Podem ser instaladas na polarização vertical ou horizontal.

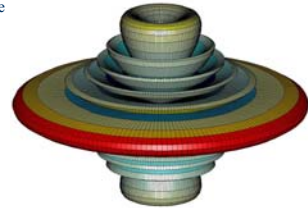


Omnidirecionais



- Antena que irradia uniformemente no plano de azimute.
- Consiste em vários dipolos empilhados e alimentados em fase.
- O ganho é obtido com relação ao número de dipolos e a distância entre eles.

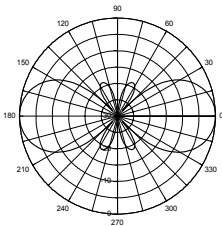
Número de dipolos	Ganho médio
1	2,15 dBi
2	5,15 dBi
4	8,15 dBi
8	11,15 dBi
16	14,15 dBi



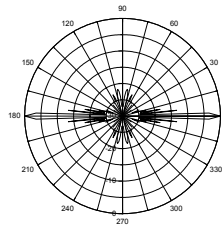
Comparação entre os Diagramas de duas Omnidirecionais

- Diagrama de Irradiação no Plano Vertical (E)

Omni 8 dBi



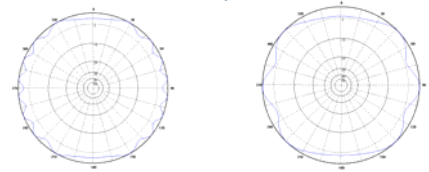
Omni 15 dBi



Influência da Torre ou Mastro na Instalação de uma Omni

- O diagrama de irradiação das antenas omnidirecionais é bastante prejudicado pela reflexão causada pelos elementos da torre ou mastro.
- Para minimizar este efeito, efetua-se a instalação distante da torre em 10λ .

Simulação



Patch Antenas

- As antenas patch são confeccionadas em placas de circuito impresso.
- Sua principal aplicação é para ambientes indoor, porém pode-se também ser usada ambientes outdoor. Contudo, proteções extras contra intempéries devem ser aplicadas, pois são muito mais sensíveis à umidade.
- Possui baixo custo de montagem, pois sua estrutura resume-se em uma placa, um conector, um refletor e o radome.
- Possui baixa eficiência de irradiação, pouca largura de banda e geralmente possuem ângulos de abertura pequenos.



Antena Helicoidal



- Estas antenas utilizam a polarização circular
- São bastante comuns em utilização na comunicação via satélite, pois não precisam ajuste de polarização.
- Muito utilizada em GPS no controle de navegação, pois apresentam uma abertura compatível com o ângulo do sinal incidente dos satélites.



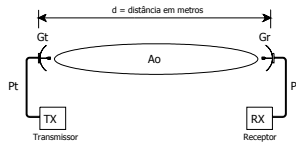
Dimensionamento de um Enlace Ponto a Ponto

- A partir do nível mínimo de sinal exigido pelo receptor faz-se o somatório das demais variáveis, corrigindo-as sempre que for necessário.

Equação Geral

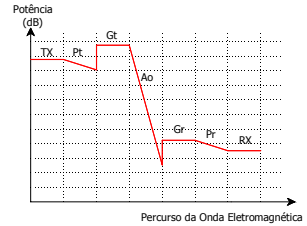
$$Rx = Tx - Pt + Gt - Ao + Gr - Pr$$

- TX - Potência de saída do rádio (dBm)
- Pt - Perda por atenuação no cabo coaxial (dB)
- Gt - Ganho da antena do transmissor (dBi)
- Gr - Ganho da antena do receptor (dBi)
- Pr - Perda por atenuação no cabo coaxial (dB)
- RX - Sensibilidade do receptor (dBm)
- Ao - Atenuação por espaço livre (dB)



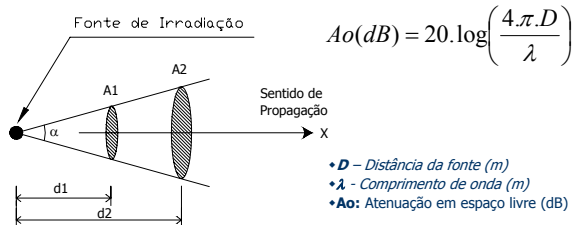
Comportamento da Potência ao longo do percurso

- Indicação gráfica da variação do nível de potência ao longo do percurso da OEM.



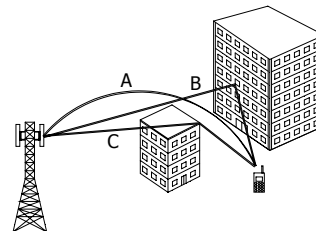
Atenuação de Espaço Livre

- Uma OEM propagado-se no espaço sofre uma atenuação contínua. Ao nos afastarmos da fonte a mesma quantidade de energia é distribuída em uma área maior, diminuindo a densidade de potência na região.
- A atenuação de espaço livre pode ser calculada pela expressão abaixo:



Elevação Terrestre e Radiovisibilidade

- Uma portadora pode tomar vários caminhos entre as antenas que compõe um rádio-enlace.

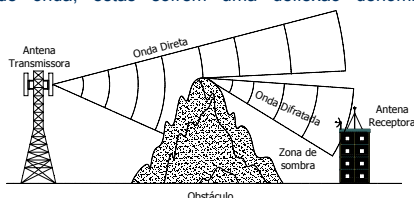


Dependendo das características do meio, a OEM pode sofrer desvios de percurso.

- A - Sinal Refratado
- B - Sinal Refletido
- C - Sinal Difratado

Difração das ondas eletromagnéticas devido a obstáculos

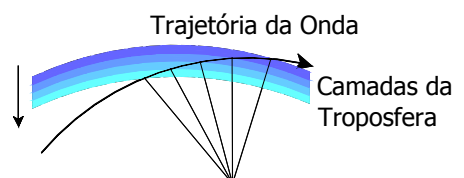
- Quando uma onda eletromagnética é limitada em seu avanço por um objeto opaco que deixa passar apenas uma fração das frentes de onda, estas sofrem uma deflexão denominada difração.



Uma nova onda é composta pelos radiadores, com características de frentes de onda diferentes da onda original.

Refração atmosférica das ondas eletromagnéticas

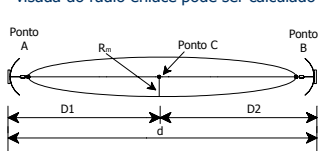
- No cálculo de enlaces de microondas a trajetória da OEM sofre um encurvamento em direção ao solo, pela passagem através de um meio com índice de refração variável com a altitude. Esta mudança de trajetória denomina-se refração da OEM.



A trajetória é desviada de forma que a onda percorra o traçado de uma arco descendente.

Cálculo do raio de Fresnel

- O raio da seção reta circular da primeira zona de Fresnel em um ponto definido pelas distâncias D1 e D2 a partir das antenas na trajetória da visada do rádio enlace pode ser calculado como se segue:



$$r_m = 547 \sqrt{\frac{D_1 \cdot D_2}{f \cdot d}}$$

r_m = raio de Fresnel (m)

D1 = Distância AC (km)

D2 = Distância BC (km)

d = Distância do Enlace (km)

f = Frequência em MHz

Aplicação:

- Verificar as obstruções da primeira zona e as perdas causadas pelas mesmas.
- Se o elipsóide de Fresnel estiver livre de obstruções → propagação no espaço livre.