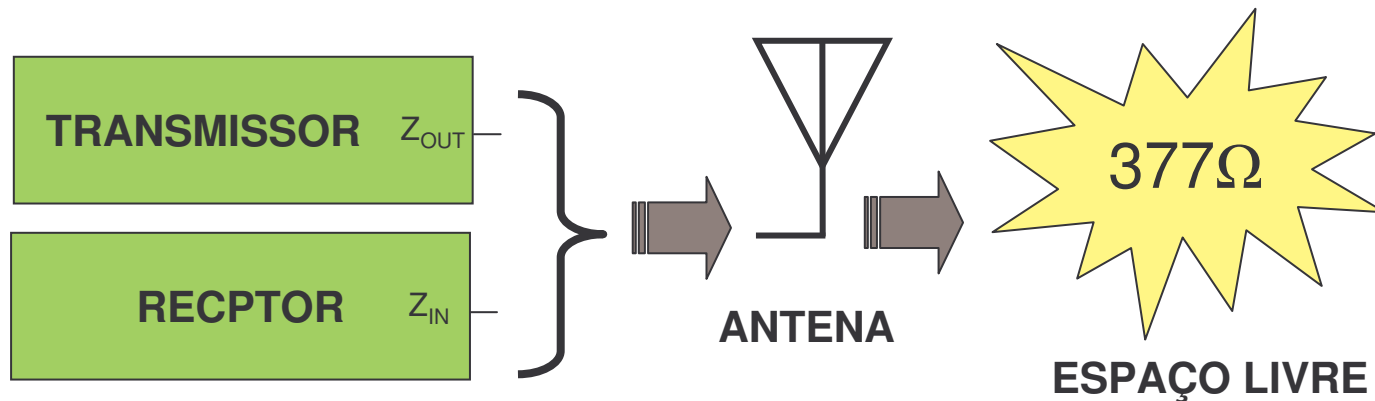


# **SISTEMAS IRRADIANTEs**

**DEFINIÇÃO E CONCEITOS  
BÁSICOS**

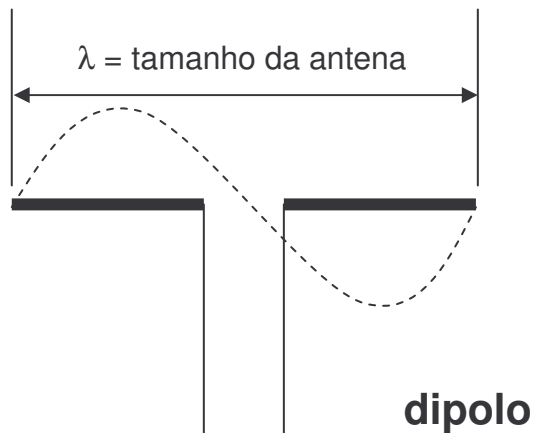
## DEFINIÇÃO DE ANTENA

- A antena é uma Linha de Transmissão que, devidamente construída, torna-se um elemento irradiante de um sinal de RF. É quem faz a “transformação” do sinal elétrico em eletromagnético. Também faz o processo inverso, o de captação de ondas eletromagnéticas e “transformação” para sinal elétrico.
- Também pode-se dizer que antena é um adaptador de impedâncias entre a saída de um transmissor ou a entrada de um receptor com o espaço livre cuja impedância é de  $377\Omega$ .



## DIMENSIONAMENTO DA ANTENA

- A antena básica é o **dipolo** e sua construção baseia-se no comprimento de onda ( $\lambda$ ) do sinal nela captado ou por ela irradiado. Suas dimensões físicas são diretamente ligadas ao comprimento de onda, que por tratar-se de uma eletromagnética, este comprimento de onda trafega no espaço na velocidade da luz, ou seja, 300 milhões metros por segundo.



- Isto significa que para a captação ou irradiação de um sinal de 10MHz o comprimento físico de uma antena seria:

$$\lambda = 3 \times 10^8 / 10 \times 10^6 = 30 \text{ metros}$$

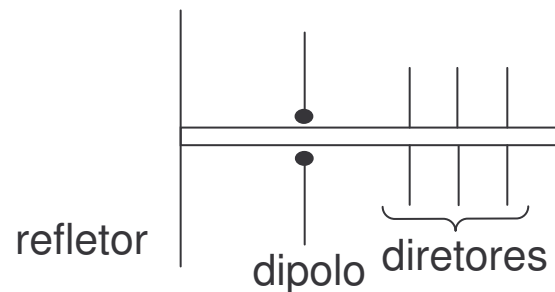
- Seria uma antena perfeita, porém fisicamente de dimensões exageradas. Para resolver este impasse foi descoberto que os submúltiplos de  $\lambda$  como  $\lambda / 2$  e  $\lambda / 4$  possuem a mesma eficiência para irradiar e/ou captar sinais de RF. Assim o exemplo da antena acima poderia ser de 15m (meia-onda) ou 7,5m (quarto-de-onda).

## PARÂMETROS DE UMA ANTENA

- Antes de entendermos o funcionamento de uma antena, temos que ter o conceito de **fonte isotrópica** que é aquela que irradia sua energia para todas as direções, como a luz de uma lâmpada. Se quisermos aumentar a intensidade da luz desta lâmpada temos que concentrá-la em uma direção de foco. Isto é possível pelo refletor de uma lanterna que faz a concentração da luz e a direciona em um sentido. O mesmo será feito por uma antena, onde existem os elementos irradiadores e os elementos refletores.



**antena isotrópica**



**antena diretiva**

- A antena isotrópica é um irradiador imaginário que irradia uniformemente em todas as direções do espaço. É uma antena ideal, pois não possui perdas e portanto não realizável na prática, servindo apenas como referência para medidas.

## PARÂMETROS DE UMA ANTENA - GANHO

- **GANHO DIRETIVO (G)**

- O conceito de ganho de uma antena parte-se do princípio de a mesma não “produz” energia como um amplificador eletrônico e, portanto, não amplifica o sinal elétrico entregue a seus terminais. Por ser uma estrutura passiva uma antena atua como elemento transdutor de um sinal elétrico para eletromagnético e vice-versa.
- O ganho diretivo expressa a capacidade de uma antena em concentrar a sua energia, sob forma de onda eletromagnética, para uma determinada direção.
- Este ganho é medido em dB e é determinado através da comparação com um outro elemento irradiador, que pode ser um isotrópico, um dipolo de  $\lambda/2$ , ou uma corneta. Assim temos que:

**dBi:** ganho diretivo em comparação a uma antena isotrópica

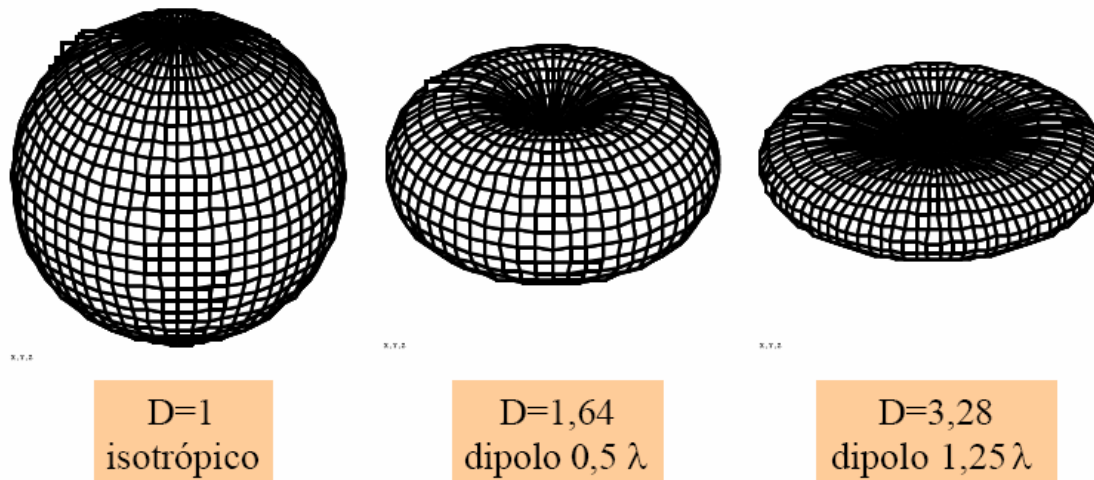
**dBd:** ganho diretivo em comparação a um dipolo de meia-onda

$$\text{dBd} = 2,15\text{dBi}$$

## PARÂMETROS DE UMA ANTENA - DIRETIVIDADE

- **DIRETIVIDADE (D)**

- A diretividade é valor máximo atingido pelo ganho diretivo de uma antena.



- A intensidade de irradiação, que é a potência irradiada por unidade de área, aumenta conforme a esfera do diagrama em 3D fica mais achatada, ou seja, onde há uma maior concentração de energia. Sendo assim, a diretividade para uma antena isotrópica é menor que a diretividade para os dipolos de meia e de quarto de onda.

## PARÂMETROS DE UMA ANTENA – EFICIÊNCIA DE IRRADIAÇÃO

- **EFICIÊNCIA DE IRRADIAÇÃO ( $\eta$ )**

- A eficiência de irradiação mede quantas vezes a potência elétrica entregue nos terminais da antena está sendo irradiado pela mesma sob forma de ondas eletromagnéticas, ou seja:

$$\eta = \frac{ERP}{P_{ANT}}$$

Onde:

- ERP (*Effective Radiated Power*): potência efetiva irradiada
- $P_{ANT}$ : potência nos terminais da antena

- **GANHO / DIRETIVIDADE / EFICIÊNCIA DE IRRADIAÇÃO**

- Interagindo estes três parâmetros temos que:

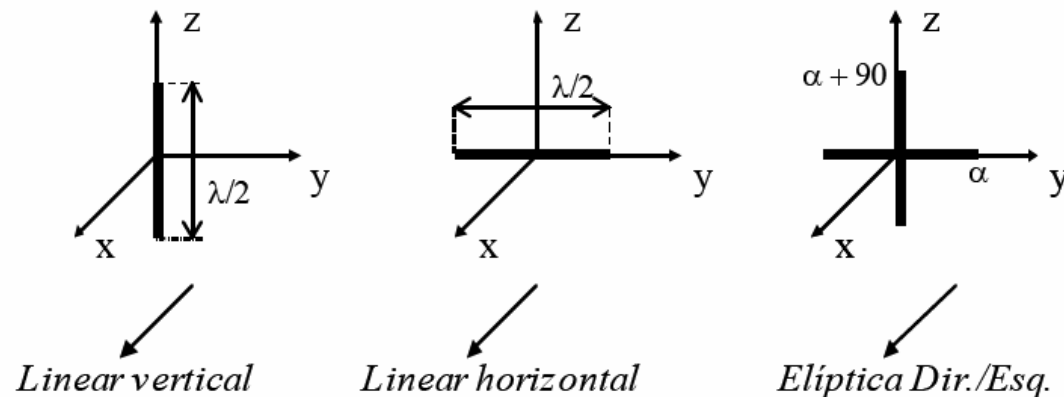
$$G = \eta \cdot D$$

Onde:

- G: ganho diretivo (dBi ou dBd)
- $\eta$ : eficiência de irradiação
- D: diretividade (1:isotrópico; 1,64: dipolo  $\frac{1}{2}$  onda; 3,28: dipolo  $\frac{1}{4}$  onda)

## PARÂMETROS DE UMA ANTENA - POLARIZAÇÃO

- A orientação espacial em função do tempo do vetor campo elétrico da onda eletromagnética irradiada por uma antena define a sua polarização.
- Para uma antena dipolo a polarização **linear** da onda de RF tem a mesma orientação mecânica da antena, podendo ser horizontal ou vertical
- Quando se excitam dois dipolos perpendiculares entre si, com sinais eletricamente defasados de 90 graus, dá-se origem a polarização **elíptica**, de onde a polarização **circular** é um caso especial que ocorre quando as potências são iguais nos elementos irradiantes horizontal e vertical.

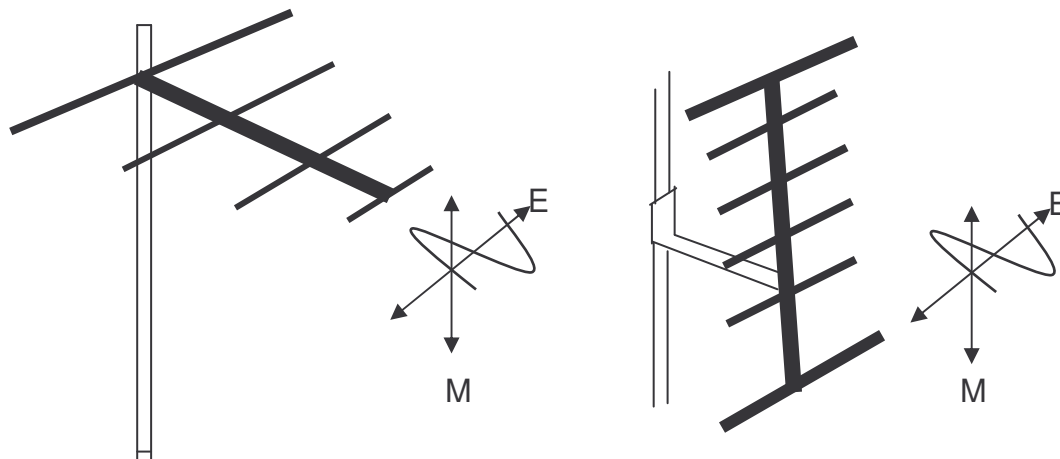




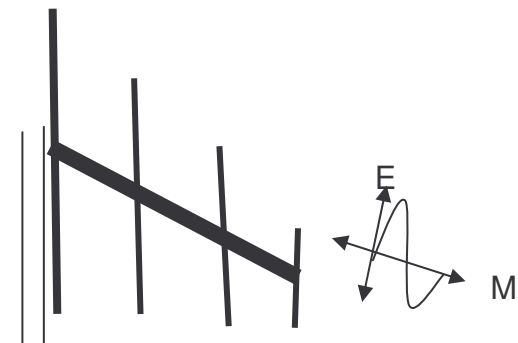
## PARÂMETROS DE UMA ANTENA - POLARIZAÇÃO

- Em transmissão de TV predomina a polarização horizontal, sendo a polarização elíptica mais rara e aplicada somente em alguns centros urbanos afim de combater a despolarização por efeitos de multipercurso numa tentativa de se melhorar a recepção indoor.
- Em transmissão FM broadcast predomina a polarização elíptica, sendo que mais recente vem se dando ênfase à transmissão vertical por apresentar melhorias nas recepções móveis.

**POLARIZAÇÃO HORIZONTAL**



**POLARIZAÇÃO VERTICAL**



## PARÂMETROS DE UMA ANTENA – DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO

- **DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO**

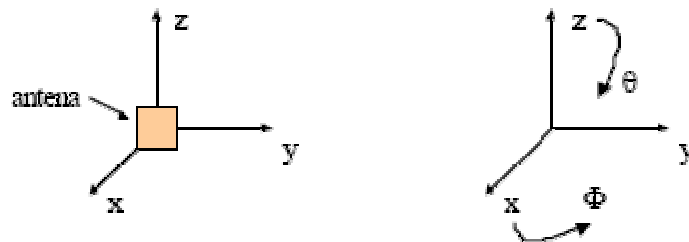
- Genericamente, diagrama de irradiação é a representação gráfica da distribuição espacial das propriedades de irradiação da antena, representada por uma superfície imaginária chamada de “esfera de irradiação”, ficando a antena hipoteticamente ao seu centro.
- As propriedades da antena que são visualizadas em um diagrama de irradiação são:
  - **potência**
  - **intensidade de campo**
  - **fase**
  - **polarização**
- Estas propriedades são associadas a cada diagrama específico em 3D, que representa graficamente como estas propriedades se distribuem ao redor da antena.
- Para efeitos mais práticos o diagrama de irradiação é geralmente usado para representar potência e intensidade de campo nos formatos **polar** ou **retangular** em escalas linear (v) ou logarítmica (dB).

## PARÂMETROS DE UMA ANTENA – DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO

- Na prática especificam-se os cortes principais na esfera do diagrama 3D da antena, que são:

• Diagrama de Azimute  $\equiv$  horizontal [ $\theta$  fixo,  $\Phi$  variável]

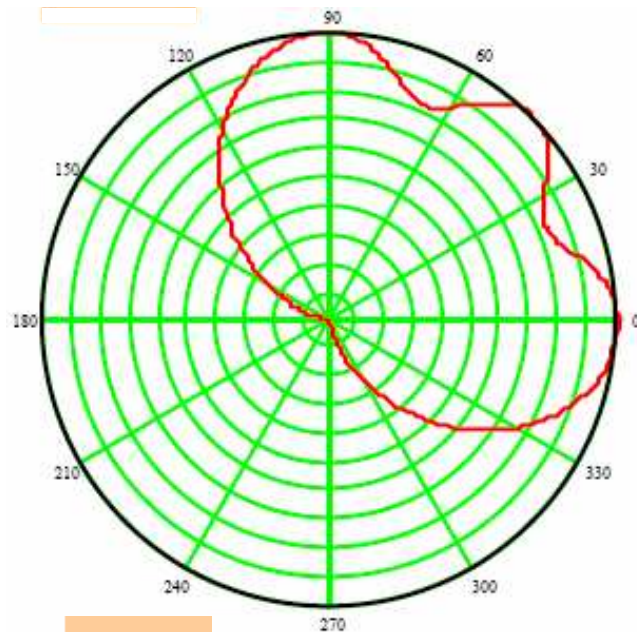
• Diagrama de Elevação  $\equiv$  vertical [ $\Phi$  fixo,  $\theta$  variável]



- Imaginando-se a antena posicionada ao centro de um sistema de coordenadas  $x, y, z$  onde o eixo  $x$  está perpendicular ao plano da figura é possível se definir dois cortes principais na esfera imaginária e associá-los ao sistema de coordenadas  $x, y, z$ .
- **CORTE DE AZIMUTE:** fatia da esfera de irradiação onde as propriedades irradiantes da antena são verificadas no plano  $x$  ou  $y$  (HORIZONTAL).
- **CORTE DE ELEVAÇÃO:** fatia da esfera de irradiação onde as propriedades irradiantes da antena são verificadas nos planos  $z$  ou  $y$  (VERTICAL).

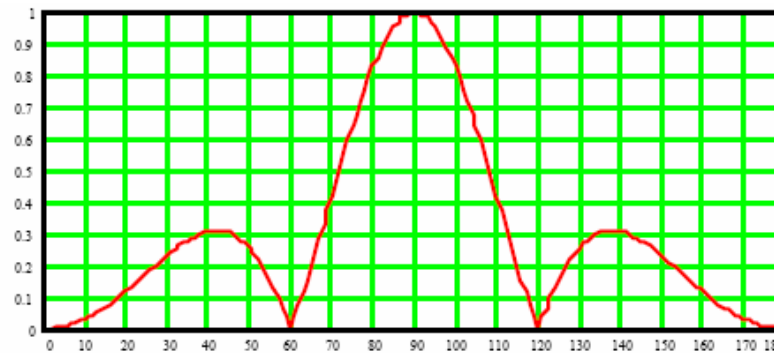
## PARÂMETROS DE UMA ANTENA – DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO

- Os formatos de representação **polar** e **retangular** mencionados nada mais são do que as variações da representação gráfica em 2D, ou seja, no “plano do papel”, dos diagramas de radiação horizontal e vertical da antena.



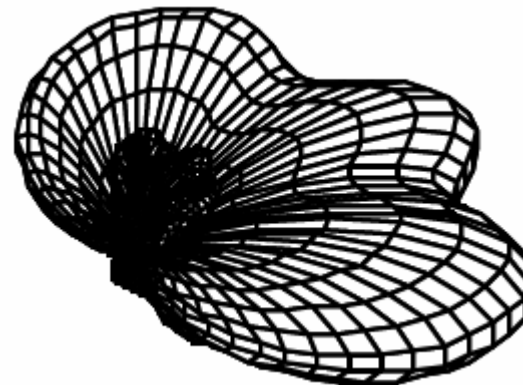
*Polar*

AZIMUTE  
(HORIZONTAL)



*Retangular*

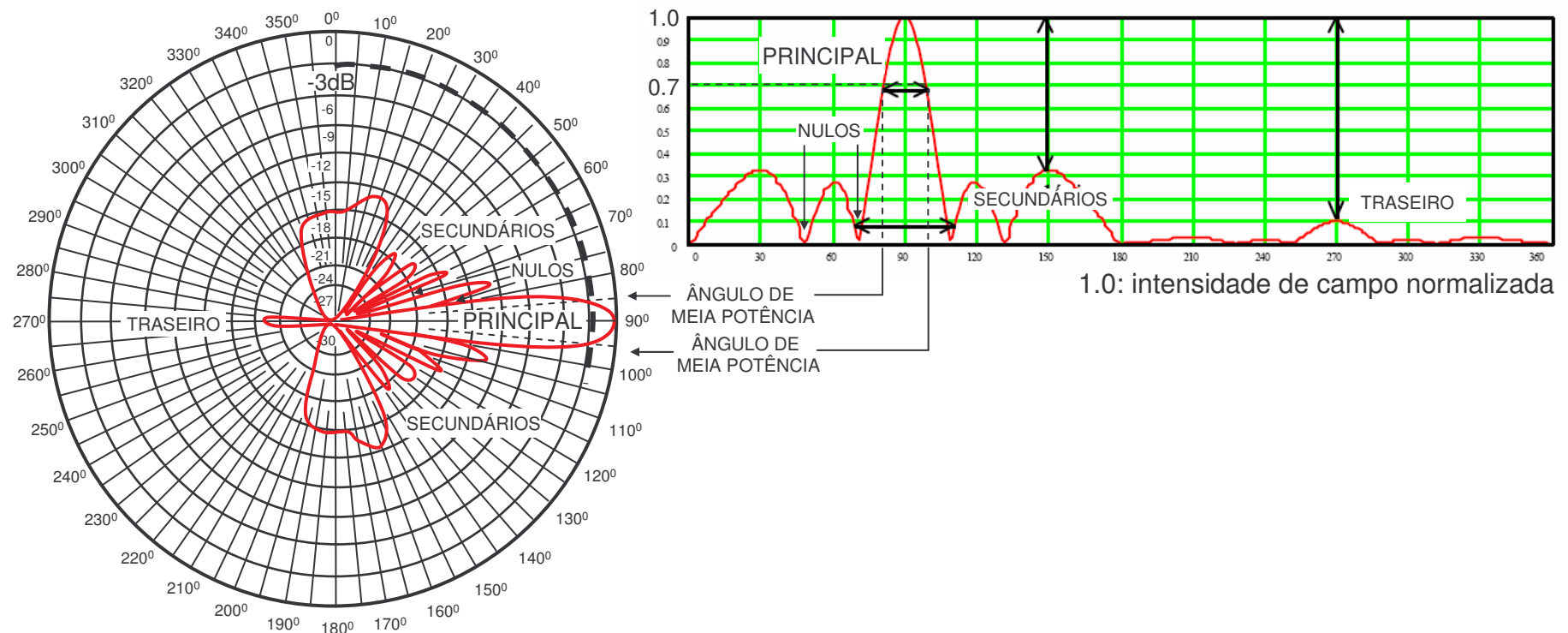
ELEVAÇÃO  
(VERTICAL)



*Espaço - 3D*

## PARÂMETROS DE UMA ANTENA – DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO

- O diagrama de irradiação representa as orientações apresentadas pela antena. A orientação de maior intensidade é chamada de **lóbulo principal**. As demais orientações de intensidade menores são os **lóbulos secundários** e os **lóbulos traseiros**. Abaixo temos os diagramas de irradiação horizontal e vertical para uma antena diretiva:



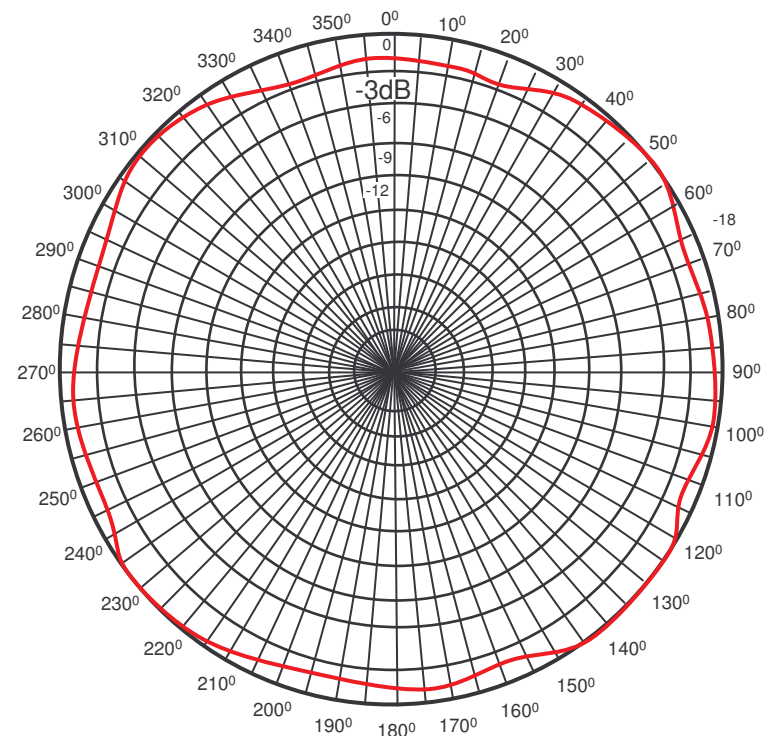
## PARÂMETROS DE UMA ANTENA – DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO

- **LÓBULO PRINCIPAL:** define o ângulo de meia potência onde a antena irá concentrar a maior parte de sua energia. Este ângulo pode ser graduado em 3dB ou 0,707 (linear) abaixo da intensidade de campo normalizada.
- **LÓBULOS SECUNDÁRIOS:** são os demais lóbulos e tem como importância verificar como a antena está distribuindo a energia ao seu redor fora da área principal de interesse de cobertura.
- **NULOS:** intersecção entre os lóbulos secundários que determina os pontos de intensidade de campo reduzida.
- **LÓBULO TRASEIRO:** é o lóbulo secundário posicionado opostamente ao lóbulo principal, que define a relação frente-costa da antena, parâmetro muito útil para se saber a capacidade de isolamento da antena quando for receptora e de direcionalidade quando for transmissora.

## PARÂMETROS DE UMA ANTENA – DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO

### • ANTENA OMINIDIRECIONAL

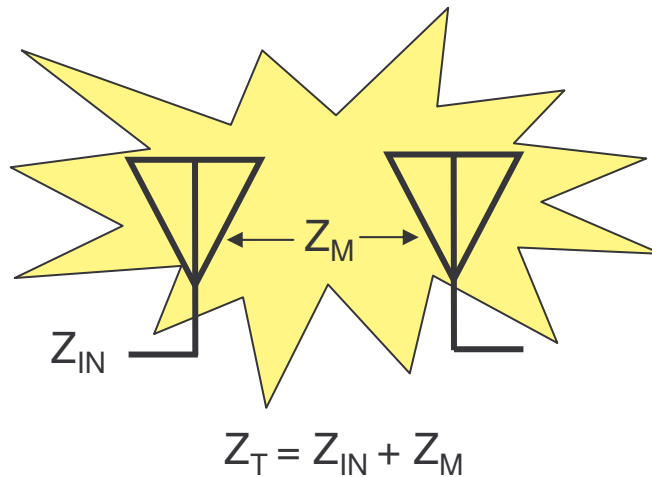
- A antena ominidirecional, ou simplesmente omini é considerada um caso aparte de tipo de antena diretiva. Apesar de irradiar quase que uniforme em todas as direções, lembrando muito uma antena isotrópica (antena ideal), ela também será diretiva em um dos cortes, seja de azimuth, seja de elevação.
- Em resumo, uma antena omini no plano vertical é diretiva ao mesmo tempo que no plano horizontal irradia em todas as direções.
- Na prática o termo ominidirecional não significa que a intensidade de campo seja constante ao redor da antena, sendo aceitável uma variação de até 3dB, ou entre 1 e 0,7 para escala linear.



## PARÂMETROS DE UMA ANTENA – IMPEDÂNCIA

### • IMPEDÂNCIA TOTAL

- A impedância total ( $Z_T$ ) de uma antena é a que será apresentada quando a mesma for instalada na torre e é determinada pela soma dos seguintes fatores:
  - impedância intrínseca da antena ( $Z_{IN}$ )
  - impedância mútua entre a antena e objetos metálicos ao seu redor ( $Z_M$ )





## PARÂMETROS DE UMA ANTENA – IMPEDÂNCIA

### • IMPEDÂNCIA INTRÍNSECA

- Como uma linha de transmissão para RF a impedância intrínseca presente nos terminais de uma antena ( $Z_{IN}$ ) é composta por uma parte resistiva (R) e uma parte reativa (X), ou seja:

$$Z_{IN} = R \pm jX$$

- A Máxima Transferência de Potência (MTP) do transmissor para a antena se dá quando as impedâncias da antena e do circuito de saída do transmissor sejam puramente resistivas e de mesmo valor. Este conceito também se aplica para a recepção, por isso universalmente se adotou o seguinte critério :

50Ω - antena transmissora

75Ω - antena receptora

### • IMPEDÂNCIA MÚTUA

- Todo objeto metálico ao redor da antena, como ferragens, outras antenas, estais e a própria torre causa uma deformação no campo irradiante da antena que, por consequência afeta a impedância total da antena.

## PARÂMETROS DE UMA ANTENA - VSWR

- **PERDA POR RETORNO ou VSWR**

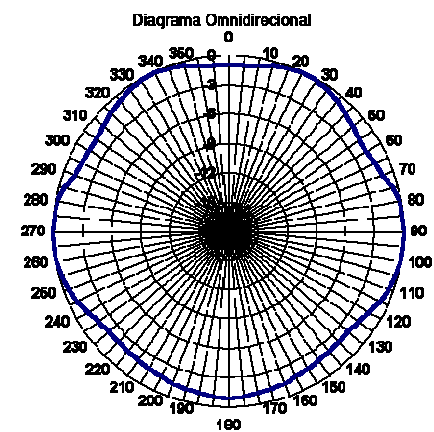
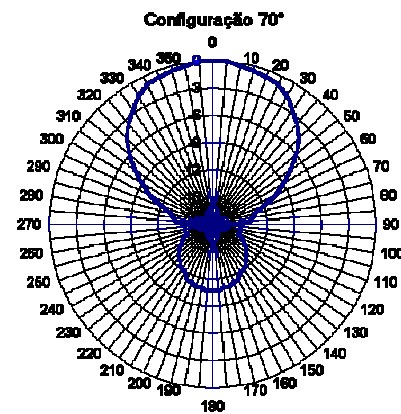
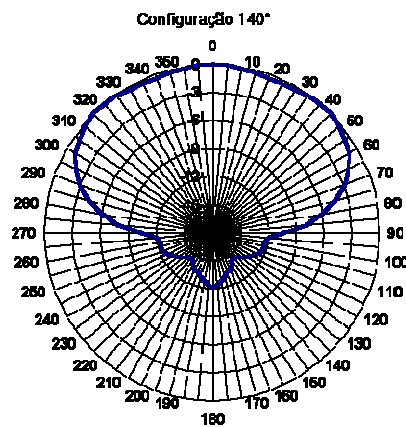
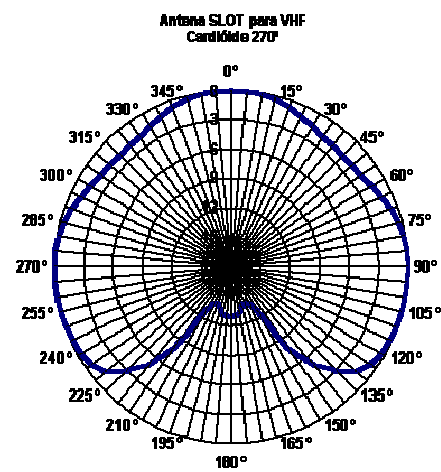
- Uma antena nada mais é que uma LT que consegue captar e/ou difundir uma onda eletromagnética. Portanto, os mesmos princípios descritos para a perda por retorno de uma LT também serão usados para uma antena.
- A perda por retorno de uma antena pode ser otimizada fazendo pequenas alterações em suas dimensões físicas. Para isto é necessário instrumental específico como Sweep (gerador de varredura para RF) ou Network Analyzer (analisador escalar).
- Na prática é aceitável uma perda por retorno de uma antena no mínimo de 23dB, o que corresponde a uma VSWR de aproximadamente 1.15 , ou seja, no máximo 15% do sinal pode retornar para o transmissor.

## ANTENA SLOT VHF



Diagrama de Irradiação	Omni	220º	140º	70º
Faixa de Operação	174 - 216 MHz	174 - 216 MHz	174 - 216 MHz	174 - 216 MHz
Ganho Nominal	4,55 dBd	6,05 dBd	7,75 dBd	9,95 dBd
Ganho em Pot. (vezes)	2,8	3,9	5,8	9,7
VSWR Máximo	1,1	1,1	1,1	1,1
Polarização	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Impedância	50 O	50 O	50 O	50 O
Máx. Potência de entrada	10 Kw	10 Kw	10 Kw	10 Kw

# ANTENA SLOT VHF



## ANTENA SLOT UHF



4 FENDAS  
OMINI



4 FENDAS  
CARDINÓIDE



8 FENDAS  
OMINI



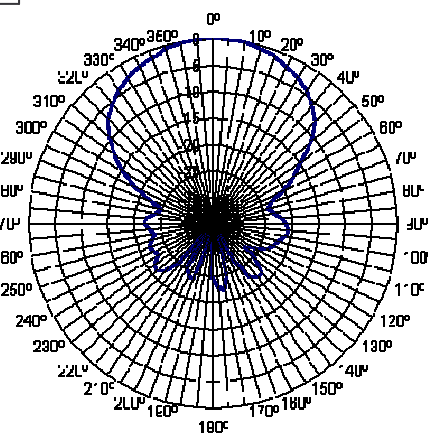
8 FENDAS  
CARDINÓIDE

## PAINEL ½ ONDA UHF



Número de Dipolos	Ganho		Ângulo de ½ pot.	
	dBi	Pot.	H	V
4	10	6,10	60°	30°
6	12	9,66	60°	20°
12	15	19,28	60°	16°
24	18	38,45	34°	16°

Painel de dipolos de meia onda UHF  
Horizontal - Ângulo de ½ pot.: 60°

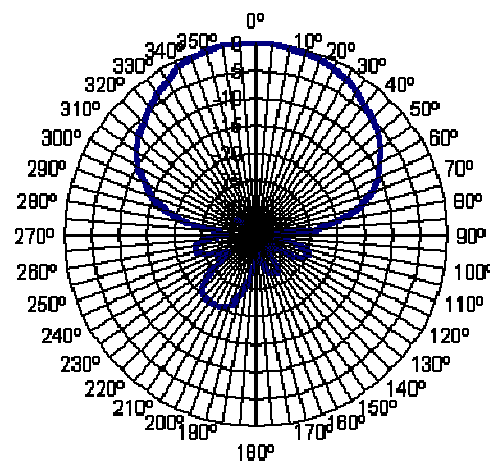


# DIPOLO DOBRADO VHF

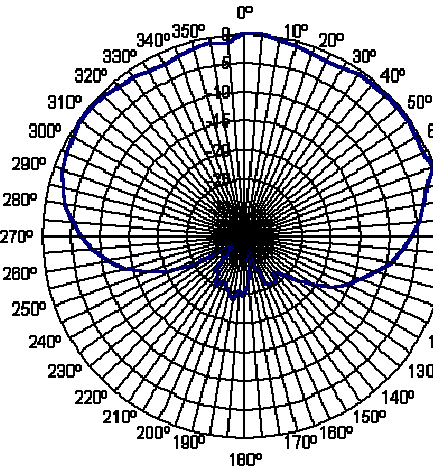


Número de dipolos	Ganho		ângulo de ½ pot.	
	dBi	Pot.	H	V
04	11,0	7,67	69,5°	22°

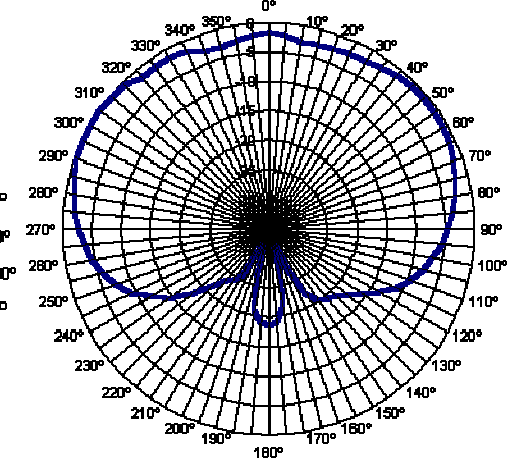
**Diagrama de Irradiação Horizontal**  
Painel 4 DMO VHF



**Painel de VHF tipo dipolo dobrado com refletor**  
02 antenas separadas em 90°



**02 Antenas Separadas em 120°**

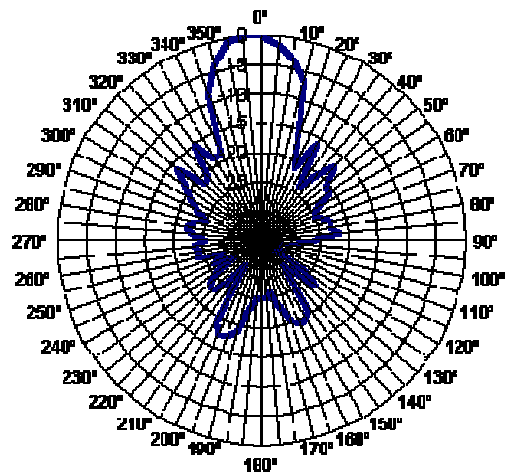


# ANTENA YAGI

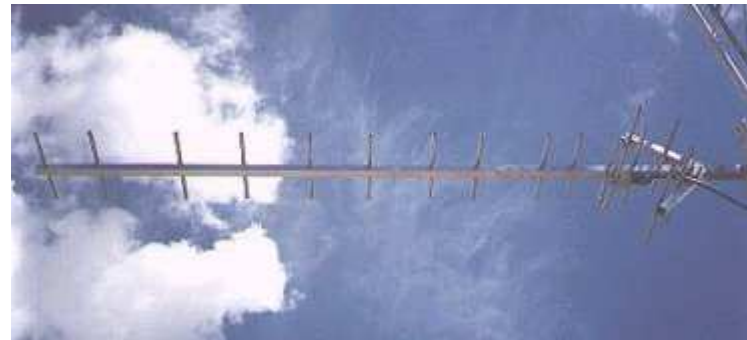
## YAGI UHF



Yagi 16 dBi UHF - Horizontal  
Ângulo 1/2 pot.: 19°



## YAGI VHF



GANHO		FAIXA	ÂNG. 1/2 POTÊNCIA	
dBi	Potên	FREQ.	H	V
4	1,53	VHF - BANDA III	45°	88°
10	6,09	VHF - BANDA I	50°	86°
12	9,66	VHF - BANDA I	40°	52°
14	15,31	VHF - BANDA III	32°	32°
16	24,27	UHF	19°	30°

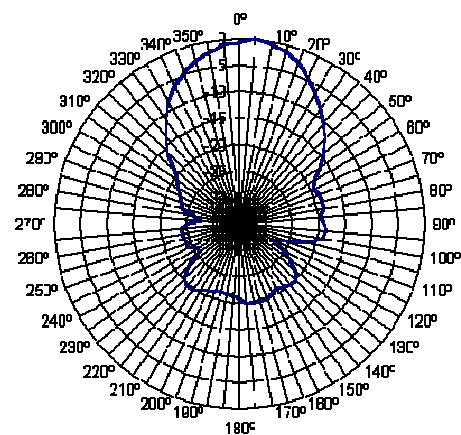


## PAINEL ONDA COMPLETA UHF

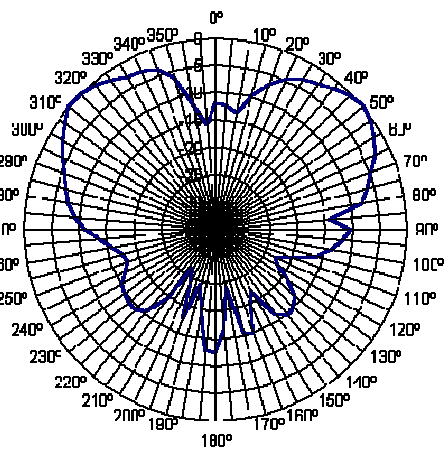


Números de dipolos	Ganho		ângulo de ½ pot.	
	dBi	Pot.	H	V
4	12,80	11,61	38°	18°
6	15,2	20,18	38°	17°
12	18,0	38,45	37°	9°
24	21,0	76,73	16°	5°

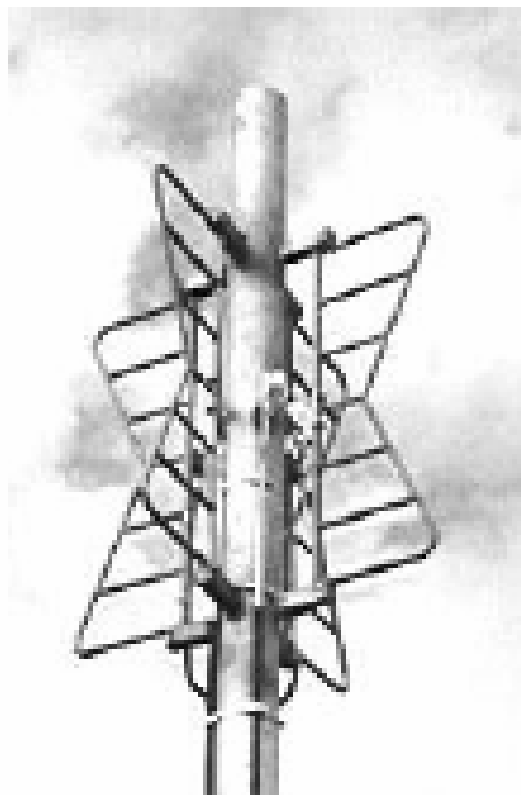
Painel 12 dipolos de onda completa - Horizontal  
1 antena



Painel 12 dipolos de onda completa - Horizontal  
2 antenas separadas em 90°



# SUPERTURNSTILE



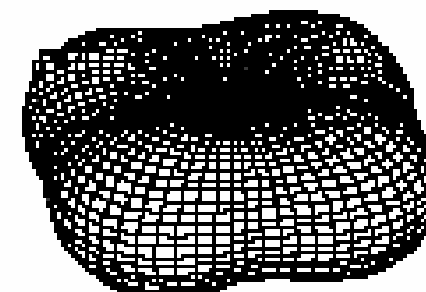
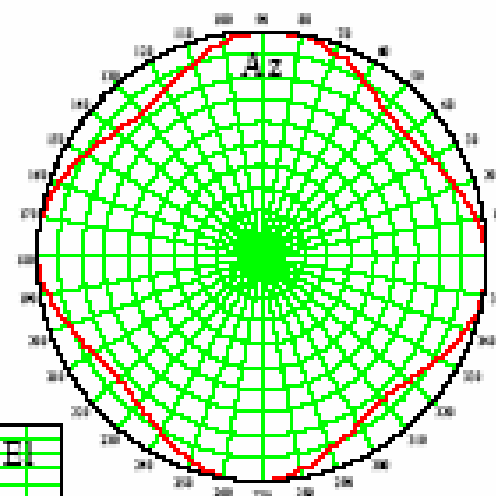
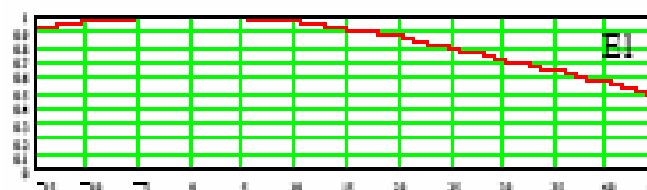
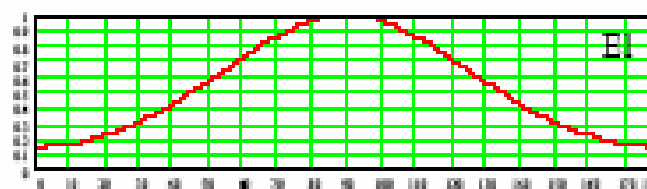
## *Superturnstile VHF-B2*

Especificações :

canal 4 até 6

Circularidade  $\cong 1,4$  dB

HPBW  $\cong 62$  graus



## ESPECIFICANDO UMA ANTENA

### • Quanto à Faixa / Aplicação no enlace

Yagi-Uda	VHF 2-13 +UHF	RP/RT	Tx+Rx
Log-Periódica	VHF 2-13 +UHF	RP/RT	Tx+Rx
Painel Dipolos	VHF 2-13 +UHF	RP/RT	Tx
Painel H	VHF 2-13	RT/GE	Tx
Superturnstile	VHF 2-13	RT/GE	Tx
Parabólica	UHF	RP	Tx+Rx
Slot	VHF 7-13 +UHF	RT/GE	Tx

RP: repetição RT: retransmissão GE: geração  
TX: transmissão RX: recepção

### • Quanto à Potência de operação

Yagi-Uda	baixa	< 100 W
Log-Periódica	baixa	< 100 W
Painel Dipolos	baixa-média	< 1 Kw
Painel H	média-alta	[> 1, < 10] Kw
Superturnstile	média-alta	[> 1, < 10] Kw
Parabólica	baixa	< 100 W
Slot	baixa-alta	< 10Kw

Em função da potência e da faixa de operação, tem-se conexões: N, F, EIA 7/8", EIA 1 5/8", EIA 3 1/8"

### • Quanto ao Diagrama / Ganho

Yagi-Uda	Direcional	5-18 dBi
Log-Periódica	Direcional	8-12 dBi
Painel Dipolos	Direcional	7-18 dBi
Painel H	Direcional	8,5 dBi
Superturnstile	Omini	2,5 dBi
Parabólica	Direcional	23-36 dBi
Slot	Omini/Direcional	6-23 dBi

Antenas direcionais podem gerar diagramas omini apenas se empregadas como elementos de um arranjo

### • Quanto à Montagem / Carga de Vento [1,5]

Yagi-Uda	Lateral	1
Log-Periódica	Lateral	1
Painel Dipolos	Lateral (*) / Topo	2-4
Painel H	Lateral (*) / Topo	2-5
Superturnstile	Topo	3-5
Parabólica	Lateral	2-4
Slot	Topo (*) / Lateral	2-3

(\*) preferencial

1=menor  
5=maior