

# Elementos de Propagacao

**Professor: Leonardo Menezes**  
**ENE - FT - UnB**

# **Objetivos**



- Entender os fundamentos da atenuação no ambiente celular
- Compreender como o modelo Área-a-Área e integrado no modelo ponto-a-ponto
- Entender porque a perda em ambiente celular é maior que no espaço livre
- Explicar como se relacionam as diversas fontes de perda na propagação no ambiente celular
- Entender os modelos de Okumura & Lee

# Sumario



- Introdução
- Atenuação de Propagação
- Fading
- Modelo do meio de transmissão
- Modelo Ponto-a-Ponto
- Condição Padrão
- Modelo de Predição Área-a-Área
- Intervalo de Confiança
- Formula Geral
- Propagação sobre água e terra plana
- Perda de folhagem
- Propagação em distancias próximas
- Propagação em longas distancias
- Estudo estatístico de propagacao
- Simulação Computacional
- Conclusões

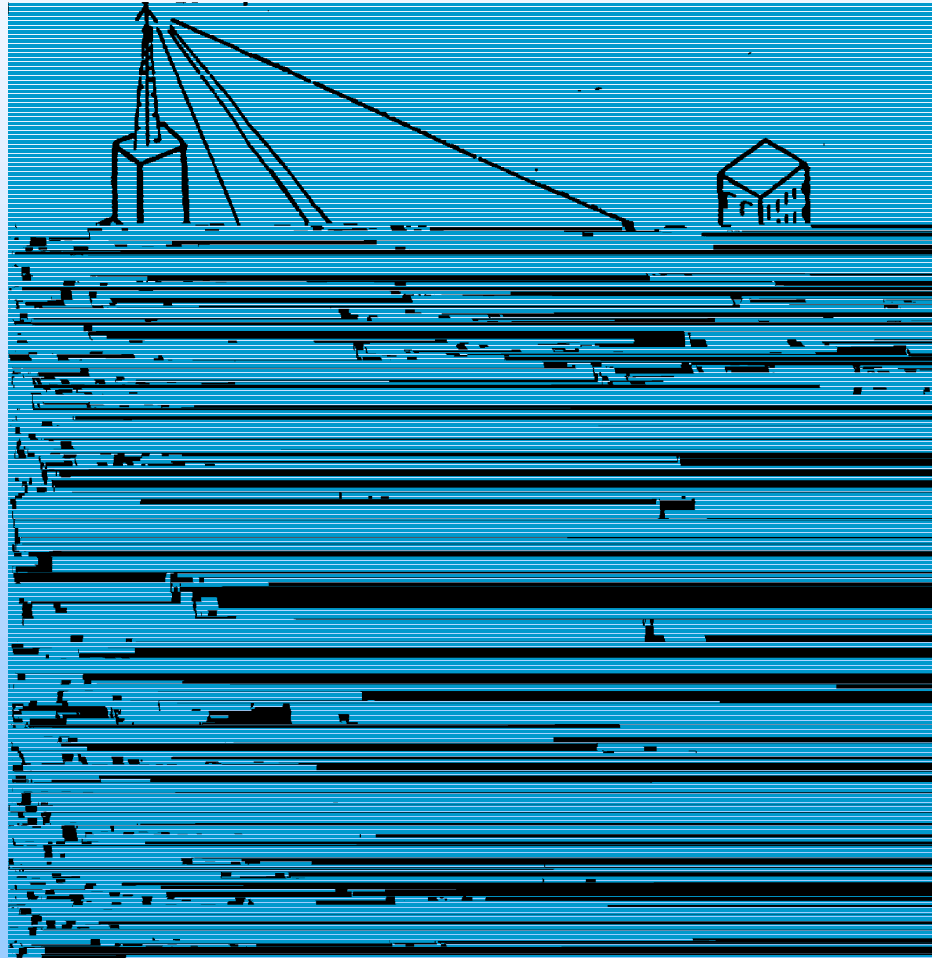
# Ambientes de comunicação



- **Uso de ondas de radio**
  - Muito afetadas por meio ambiente
- **Área coberta pelo sinal**
  - Definida por perdas na propagação
  - Modelos de predição
- **Visadas**
  - Livre - TX “vê” RX
  - Direta - TX “não vê” RX (estruturas)
  - Obstruída - TX “não vê” RX (terreno)

Apresentação

# Ambiente Celular



# Ambiente Celular



## Atenuação do sinal na Propagação

- Perdas de espaço livre (Friis)
  - 20 dB por década (1-10 km)
- Perdas na terra plana
  - 40 dB por década (1-10 km)
- Perda na água
  - Similar a terra
- Perda na água e terra
  - Similar espaço livre
- Perda de difração (Próximo a zero)
- Perda de folhagem (depende da frequência)

# Ambiente Celular



## ■ Modelos de Predição

- Usado na geração do mapa de cobertura
- Área de interferência
- Mapa de handoff
- Mistura de dados empíricos e analíticos

## ■ Modelos

- Hata- Okumura
- Lee

# *Modelo de Hata-Okumura*

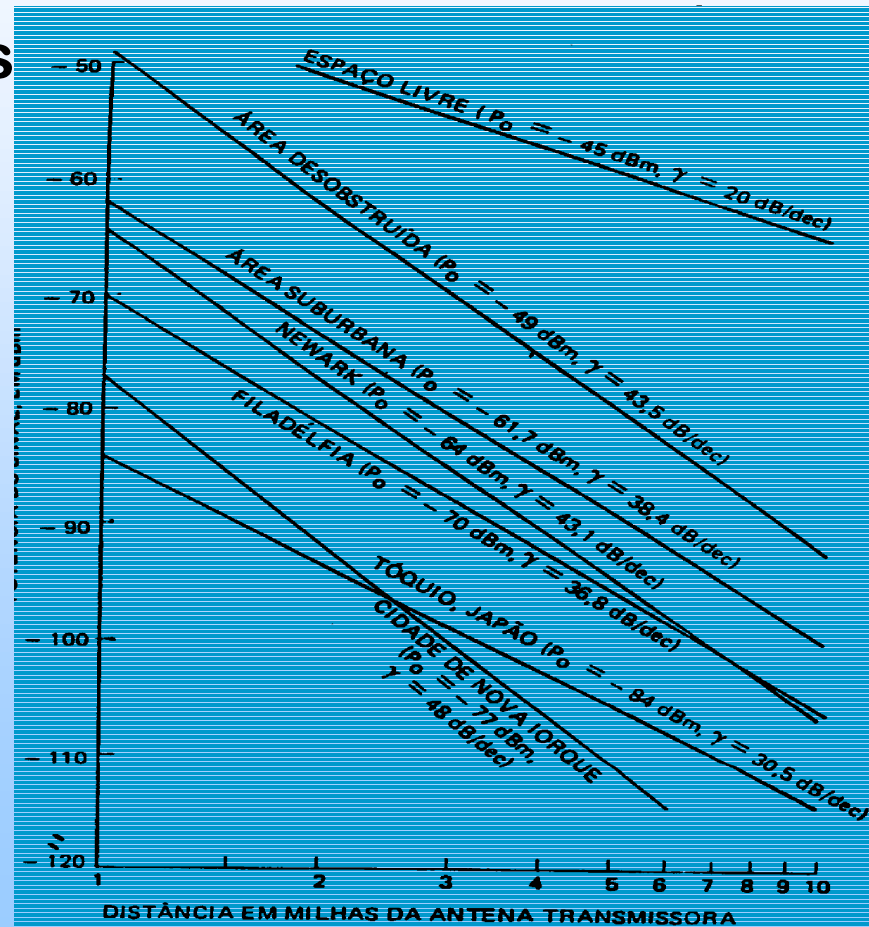


- **Medidas em campo em Tokyo**
- **Terreno quase plano**
- **Uso de fatores de correção**
  - **Atenuação de espaço livre**
  - **Fatores de correção para antenas**
  - **Fator de correção para área**
    - **Modelo simplificado de perda**
  - **Fator de correção para atenuação**

# Apresentação *Modelo simplificado de perdas*



- Utilizado nos modelos
  - Hata-Okumura
  - Lee
- Baseado em dados empíricos
- Baseado em correções a teoria



# ***Modelo de Lee***



- **Parte do modelo simplificado de perdas**
- **Acrescenta perdas devido a obstruções**
- **Acrescenta perdas por terreno não ser plano**
  - **Centro ou região de maior trafego**
  - **Disponibilidade de recurso**

# Modelo de Lee



- **Definição do raio**
  - **Caso 1: Disponibilidade de canais grande**
    - Raios grandes - limitados por potência e interferência
  - **Caso 2: Disponibilidade de canais critica**
    - Raios pequenos - limitados pela demanda
- **Quantidade de canais por célula:**
  - Dado pelo padrão de reuso ( $K=4, 7$  ou  $9$ )

# **Apresentação** *Introdução - Cobertura de Célula*



- **Estudada por:**
  - Cobertura de Sinal (Esboçado)
  - Cobertura de Tráfego (Mostrado)
- **Cobertura de sinal**
  - Cobrir toda área com um mínimo de células
- **Modelo de Predição Ponto-a-Ponto**
  - Erro de 3 dB

# **Apresentação** *Introdução - Cobertura de Célula*



- **Modelo Ponto-a-Ponto**
  - Áreas abertas
  - Áreas Sub-urbanas
  - Áreas Urbanas
  - Terreno Plano
  - Terreno Acidentado
  - Sobre Água
  - Através de folhagem

# Atenuação de propagação - Espaço livre



- No ambiente de propagação a atenuação segue a formula

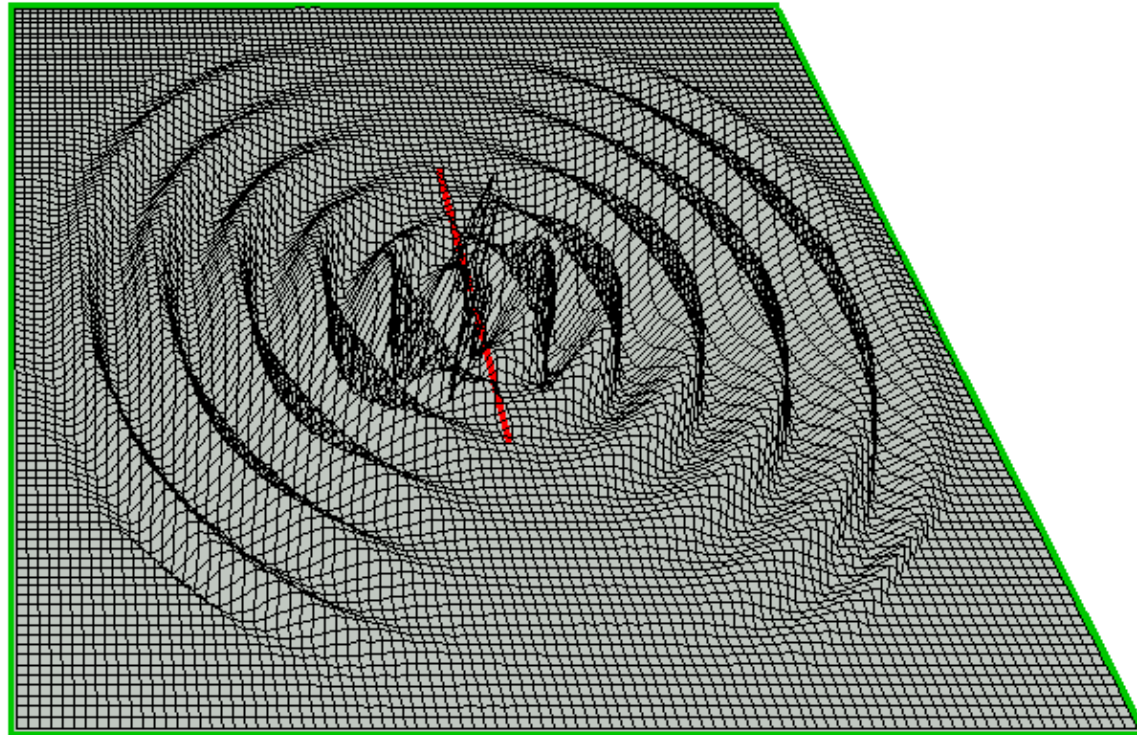
$$E \propto \frac{(1 + ae^{j\beta\Delta\phi})}{d / \lambda}$$

- Como ( $a=0$ ), a potência:

$$P \propto |E|^2 \Rightarrow P(dB) = K - 20 \log \left[ \frac{d}{\lambda} \right]$$

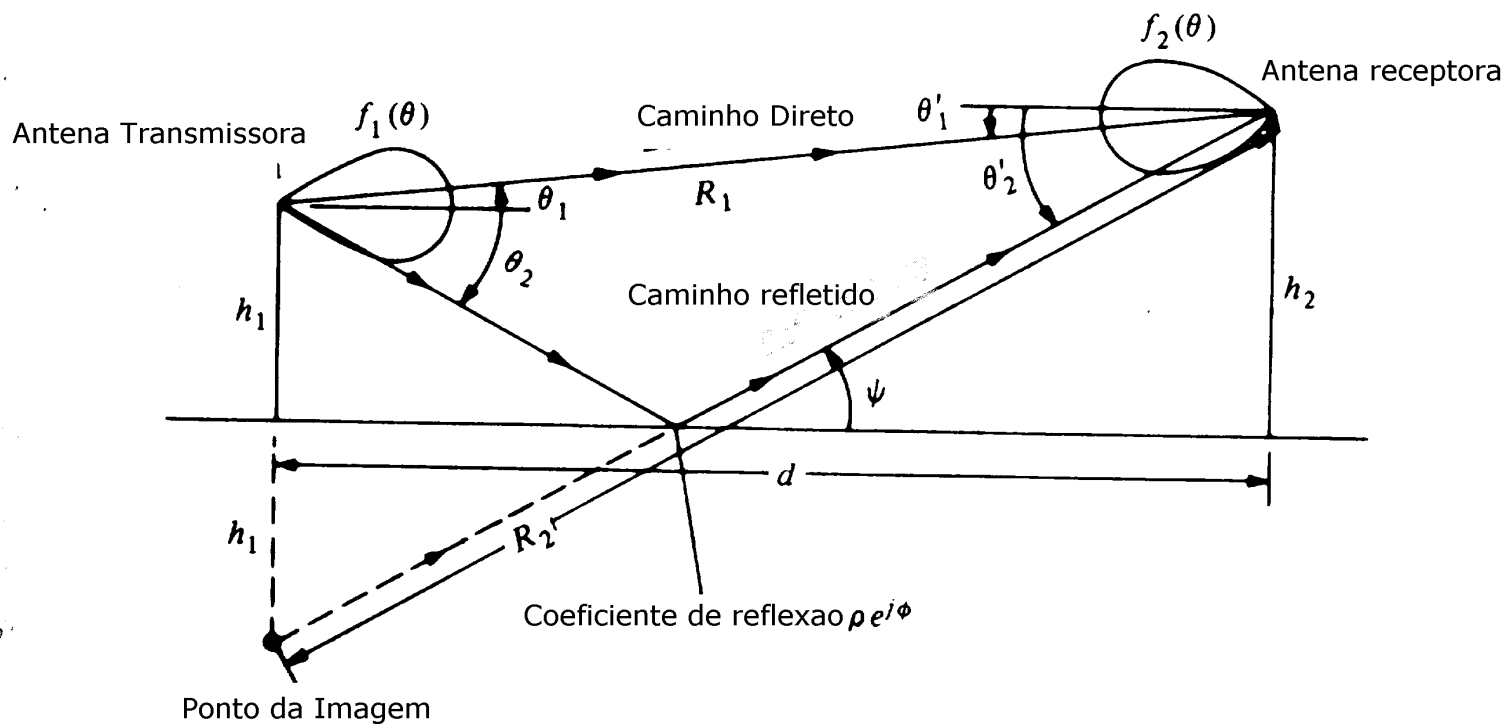
Apresentação

# Ondas EM em espaço livre - Radiação de antenas



Antena Dipolo

# Atenuação de propagação - Terreno Plana



# Atenuação de propagação - Terreno Plana

- Na terra plana a não é zero e sim -1.

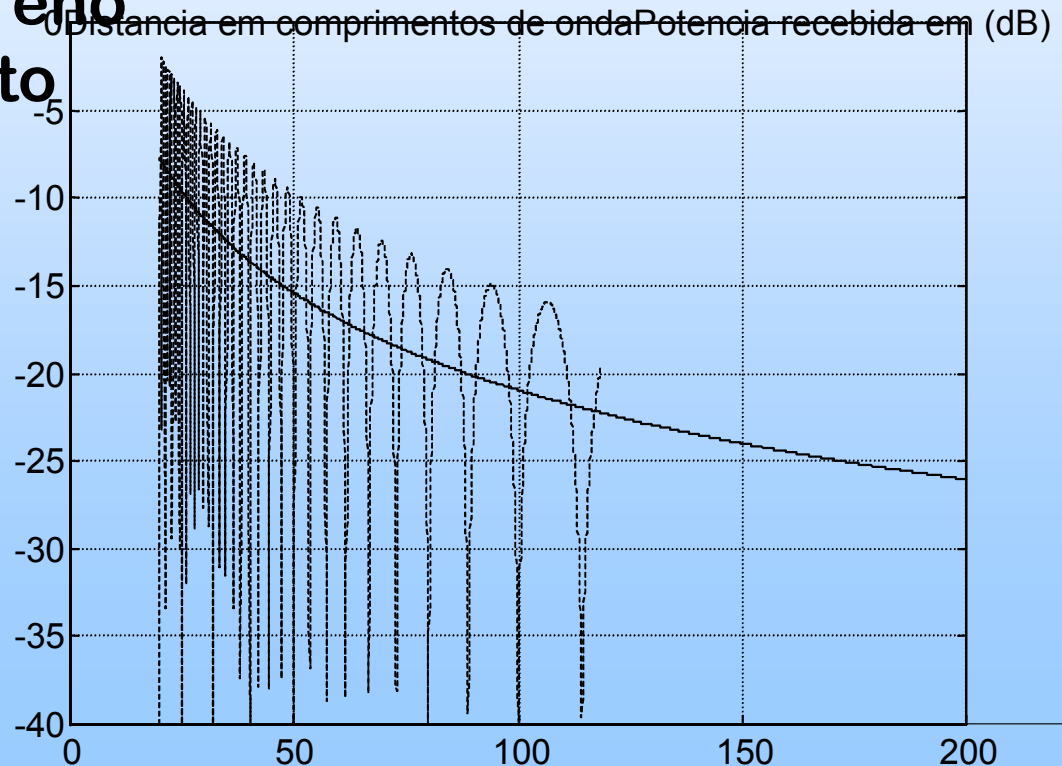
$$E \propto \frac{(1 - e^{j\beta\Delta\phi})}{4\pi d / \lambda} = \frac{\left[ 1 - \cos\left(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d}\right) - j \operatorname{sen}\left(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d}\right) \right]}{4\pi d / \lambda} \approx \left(\frac{h_1 h_2}{d}\right)^2$$

- Portanto a perda com terreno:

$$P \propto |E|^2 \Rightarrow P(dB) = K - 40 \log \left[ \frac{d}{h_1 h_2} \right]$$

# Atenuação de propagação - Terreno Plana

- Propagacao com polarizacao horizontal e terreno condutor perfeito



Apresentação

# Atenuação de Atenuação de propagação

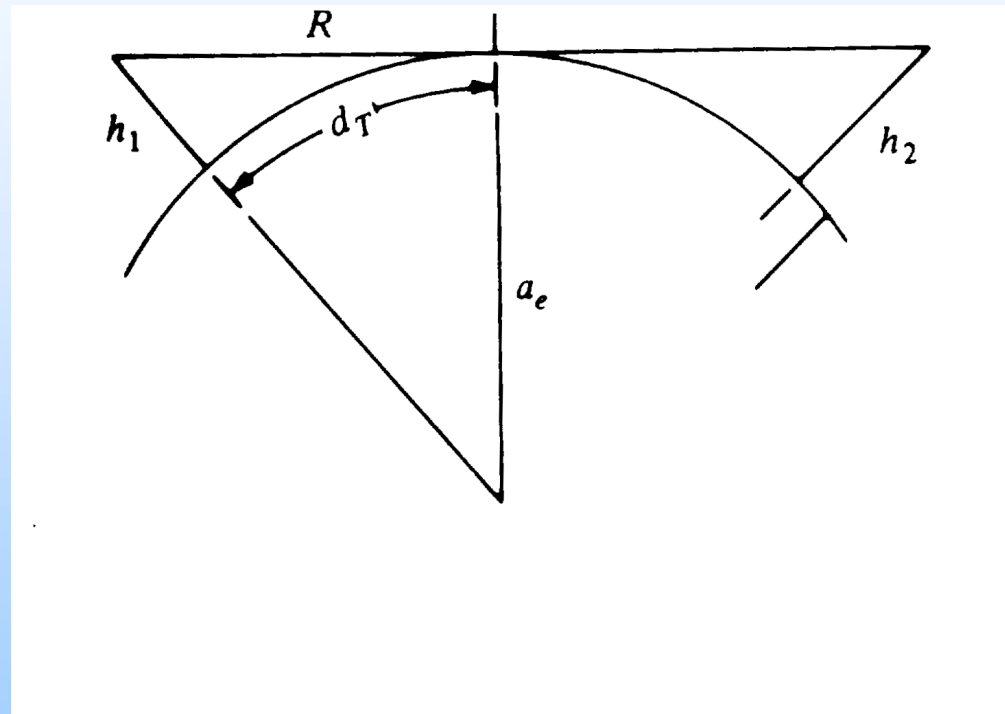




# Apresentação *Terra esferica - distancia maxima*



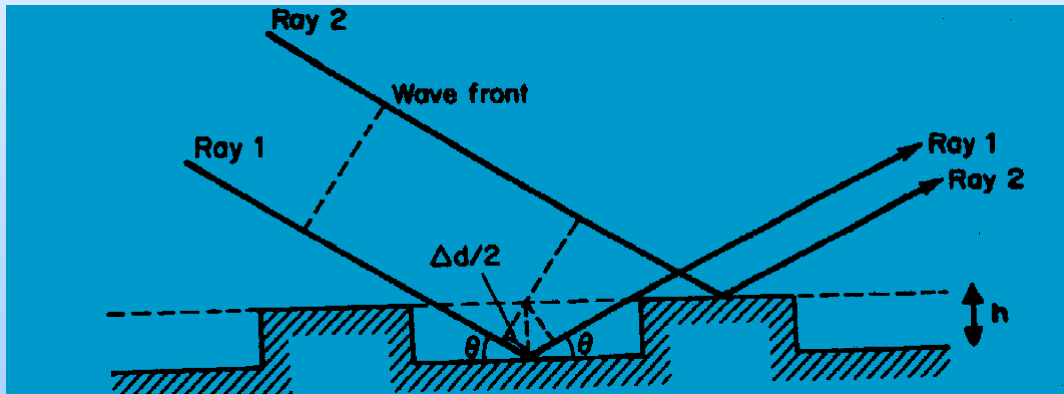
- Distancia devido a curvatura da terra
- Ex: Celular
  - $d=26.7$  km
- Influencia de difracao



$$d_M = \sqrt{2a_e} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) = (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) 4122$$

# Atenuação de propagação - Terreno Acidentado

- Critério de Rayleigh
  - Define rugosidade da superfície



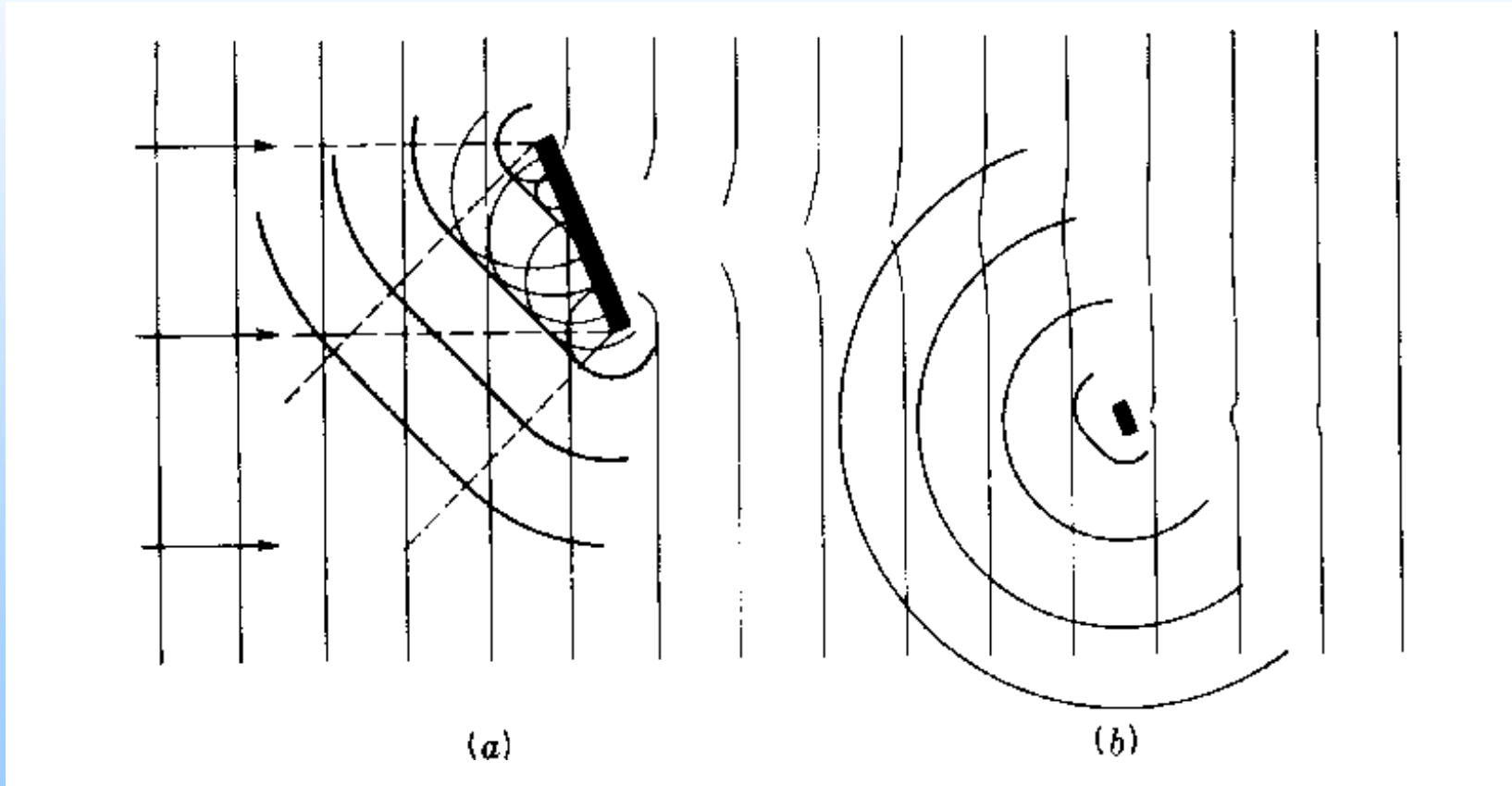
5.06 m

# **Apresentação Ondas eletromagnéticas - Difração de ondas**

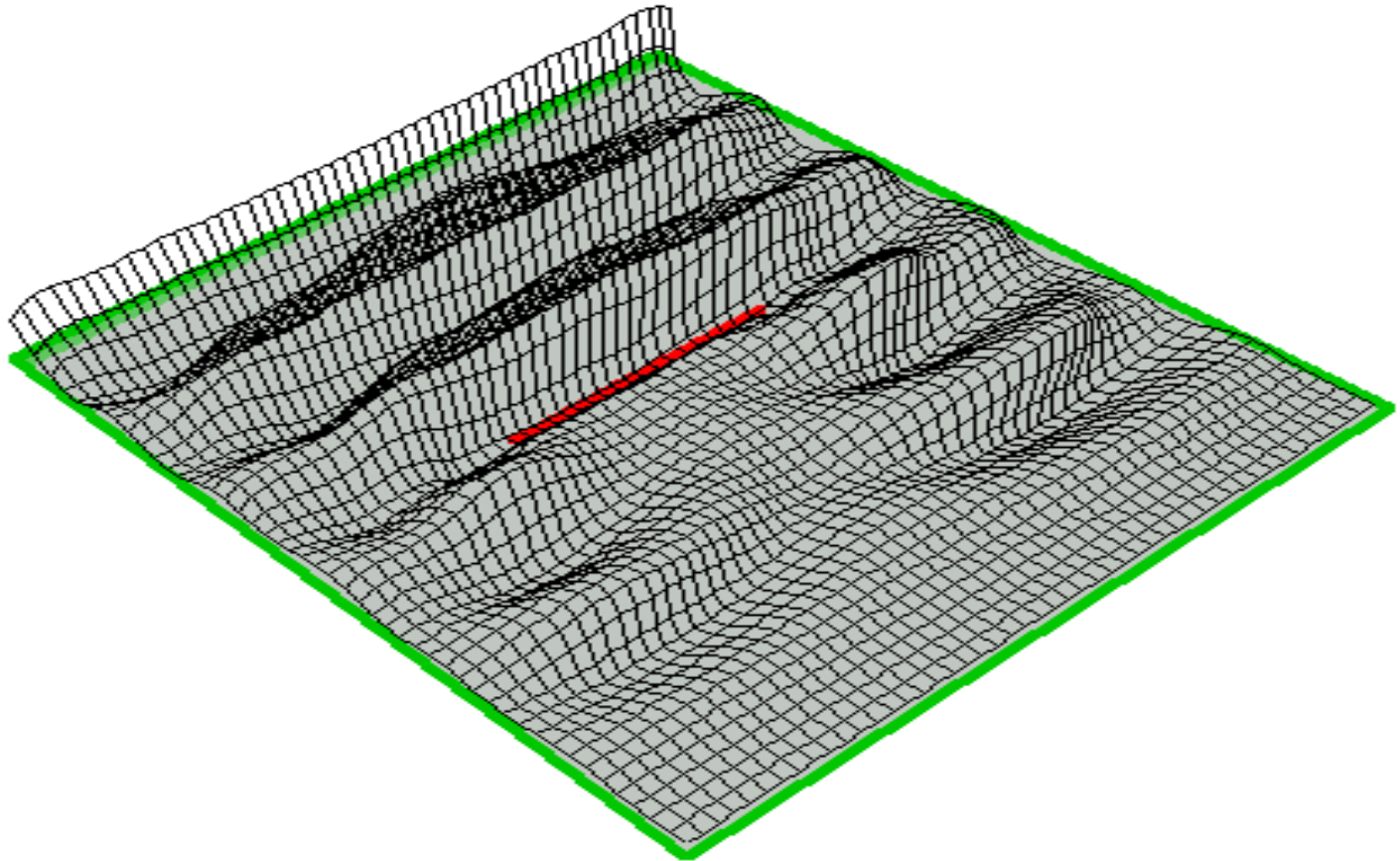


- A reflexão e refração também dependem do tamanho dos obstáculos encontrados no meio
- Se as dimensões do obstáculo são menores que o comprimento de onda, a onda pode “encobrir” o obstáculo
- Se a interface é descontínua, parte da onda pode “encobrir” o obstáculo, gerando uma região de sombra.

# Apresentação Ondas eletromagnéticas - Difração de ondas



Apresentação **Ondas eletromagnéticas -  
Difração de ondas**



# Fading



- Gerado por ondas de multipercurso
  - Soma gera o Fading
- Sinal movel composto de:
  - Termo de longo prazo - distribuição lognormal
    - Variação de terreno
  - Termo de curto prazo - distribuição de Rayleigh
    - Reflexão de edifícios

# Apresentação *Modelo do meio de transmissão*



## ■ Formula de perdas

- 20 dB/década
- 40 dB/década

- Úteis porem aproximações dependentes da distancia

## ■ Critério de distancia

- Espaço livre:  $d < D$
- Terreno plano:  $d > D$
- $d = 330$  m

$$D = \frac{4h_1h_2}{\lambda}$$

# Modelo Ponto-a-Ponto



## ■ Geração:

- **Condição Padrão**
  - Uso de fatores de correção
- **Modelo de Predição Área-a-Área**
  - Modela perda pelo meio de transmissão
- **Uso do modelo de área como base**

# Condição padrão



## Generating a Standard Condition

Standard condition	Correction factors*
At the Base Station	
Transmit power $P_t = 10$ W (40 dBm)	$\alpha_1 = 10 \log \frac{P'_t}{10}$
Height $h_1 = 100$ ft (30 m)	$\alpha_2 = 20 \log \frac{h'_1}{h_1}$
Gain $g_t = 6$ dB/dipole	$\alpha_3 = g'_{t2} - 6$
At the Mobile Unit	
Height, $h_2 = 10$ ft (3 m)	$\alpha_4 = 10 \log \frac{h'_2}{h_2}$
Gain, $\sigma = 0$ dB/dipole	$\alpha_5 = \sigma'$

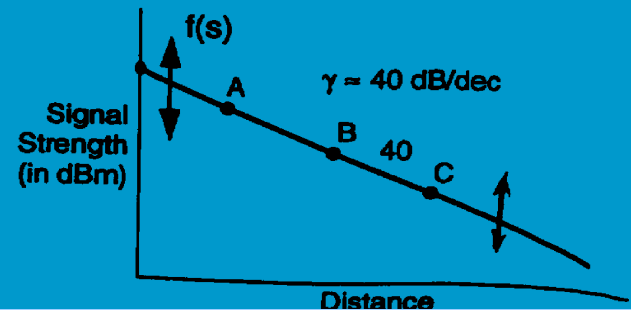
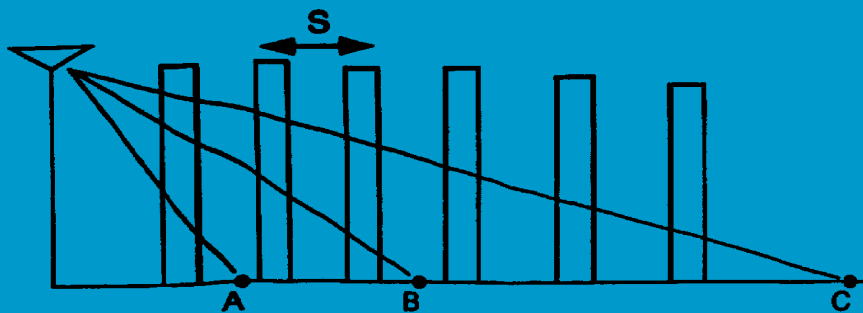
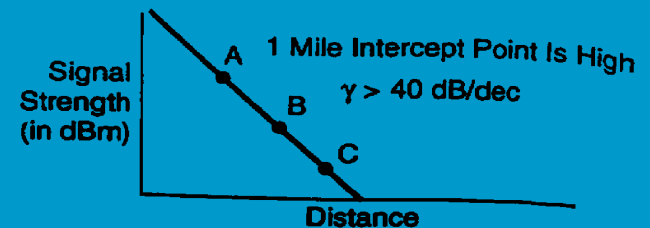
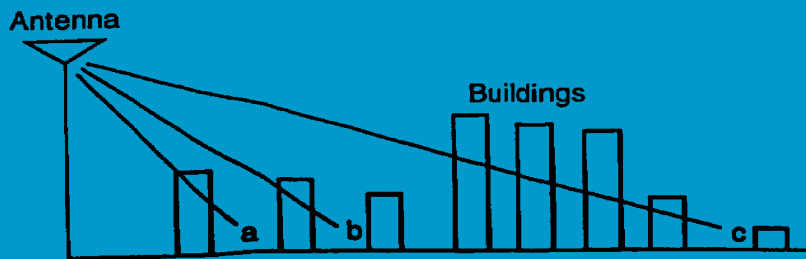
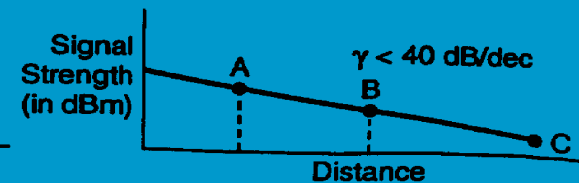
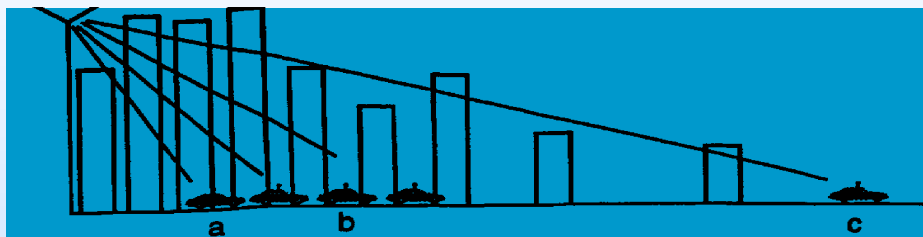
\*meters with primes are the new conditions.

# Apresentação *Modelo de Predição* *Área-a-Área*



- **Medição da intensidade do sinal**
  - Através de critérios estáticos
  - Atenuação propagação (20-40 dB/dec)
  - Após instalação da 1a ERB ?
- **Caso típico (Filadélfia)**
  - TX: 10 W, 30 mts, 9 dB antena; RX 0dB, 3 mts
  - Resultado: Sinal c/ media lognormal  $\sigma$  8dB, 1 milha da torre sinal a -61.7 dBm, Atenuação: 38.4 dB/dec

# Apresentação *Modelo de Predição* *Área-a-Área*



# Apresentação *Modelo de Predição* *Área-a-Área*



- **Dos dados anteriores**
  - Sistema Inglês

$$P = -61.7 - 38.4 \log(d) + \left( \left[ \frac{h(ERB)}{30} \right] \left[ \frac{Potencia}{10W} \right] \left[ \frac{Ganho - Antena(dB)}{6dB} \right] \right)^2$$

- Sistema métrico

$$P = -54 - 38.4 \log(d) + \left( \left[ \frac{h(ERB)}{30} \right] \left[ \frac{Potencia}{10W} \right] \left[ \frac{Ganho - Antena(dB)}{6dB} \right] \right)^2$$

# Intervalo de Confiança



## Valor estatístico na medição

- 68% estarão entre a media e 1 variância ( $m - \sigma < x < (m + \sigma)$ )
- 95% estarão entre media e 2 variâncias ( $m - 2\sigma < x < (m + 2\sigma)$ )
- No caso anterior:
  - 68% entre -69.7 dBm e -53.7 dBm
  - 95% entre -77.7 dBm e -45.7 dBm
- Conceito valido para medições no ambiente celular ( $d > 40 \lambda$ )

# Formula Geral para Propagação móvel celular



- Fatores de Correção (Okumura)
  - 6dB por oitava - Antena (ERB)
  - 3 dB por oitava (UM -  $3 < h < 5$  m)
  - $2h \log(h/3)$  (UM -  $5 < h < 10$  m)
  - Terreno quase plano (20 mts ondulação)

# Formula Geral para Propagação movel celular (Lee)

## ■ Modelo de Lee - Macrocelula

$$P = \left\langle P_r - \gamma \log \left( \frac{r}{r_0} \right) + \alpha_0 \right\rangle_1 + \left\langle 20 \log \left( \frac{h}{h'} \right) \right\rangle_2 - \left\langle n \log \left( \frac{f}{f_0} \right) \right\rangle_3$$

$$P = \left\langle P_r - \gamma \log \left( \frac{r}{r_0} \right) + \alpha_0 \right\rangle_1 + \left\langle L(v) \right\rangle_4 - \left\langle n \log \left( \frac{f}{f_0} \right) \right\rangle_4$$

- 1) Estrutura humana
- 2) Terreno
- 3) Normalização de freqüência ( $f_0=850$  MHz -  $n=20$   $f < f_0$ ,  $n=30$   $f > f_0$ )
- 4) Perda por difracao

# Propagação sobre água e terra plana



- Porque perda sobre a água e terra e próxima ao do espaço livre
  - Duas ondas extras presentes na propagação
    - Onda direta
    - Reflexão da água
    - Reflexão da terra
  - O efeito das duas reforça o sinal - resulta em 20dB/dec

# Perda da Folhagem



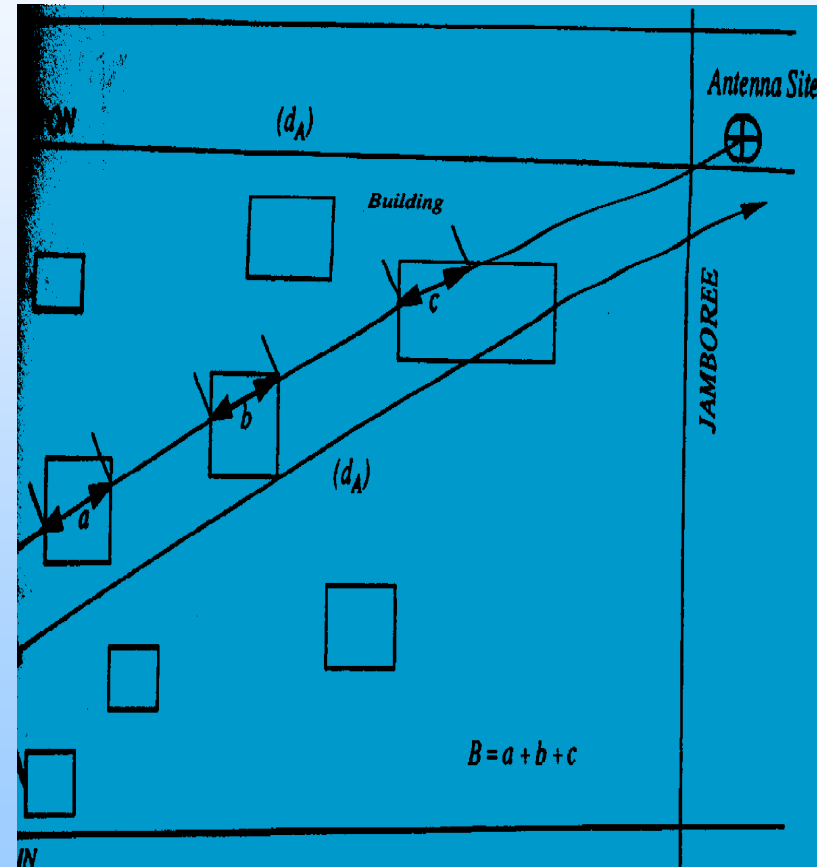
- **Difícil de estimar (inverno e verão - os efeitos são diferentes)**
  - Em geral varia com  $f^4$ .
  - Resulta em perdas da ordem de 40 dB/dec (850 MHz)
  - **Depende de inúmeros fatores**
    - No caso de uma área urbana com folhagem (perda atenuação+folhagem = 60dB/dec)

# Apresentação Propagação em Distancia Próximas (< 1km)



## ■ Passos:

- Digitalize ruas e calcule densidade de edifícios por bloco
- Calcule o comprimento equivalente do bloco com edifício
- Ex:  $a*(x)+b*(y)+c*(z)$



# Apresentação *Propagação em Distancia Próximas (<1km)*



- Calcule a perda por atenuação

$$L = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$
$$L = 20 \log \left( \frac{16\pi h_1 h_2}{\lambda^2} \right) + \gamma \log \left( \frac{d\lambda}{4h_1 h_2} \right)$$

- $d < 4h_1 h_2 / \lambda$  (use formula 1) - Espaço livre

$$P = P_t - L - L_{BEQ}$$

# Propagação em Longa Distancia

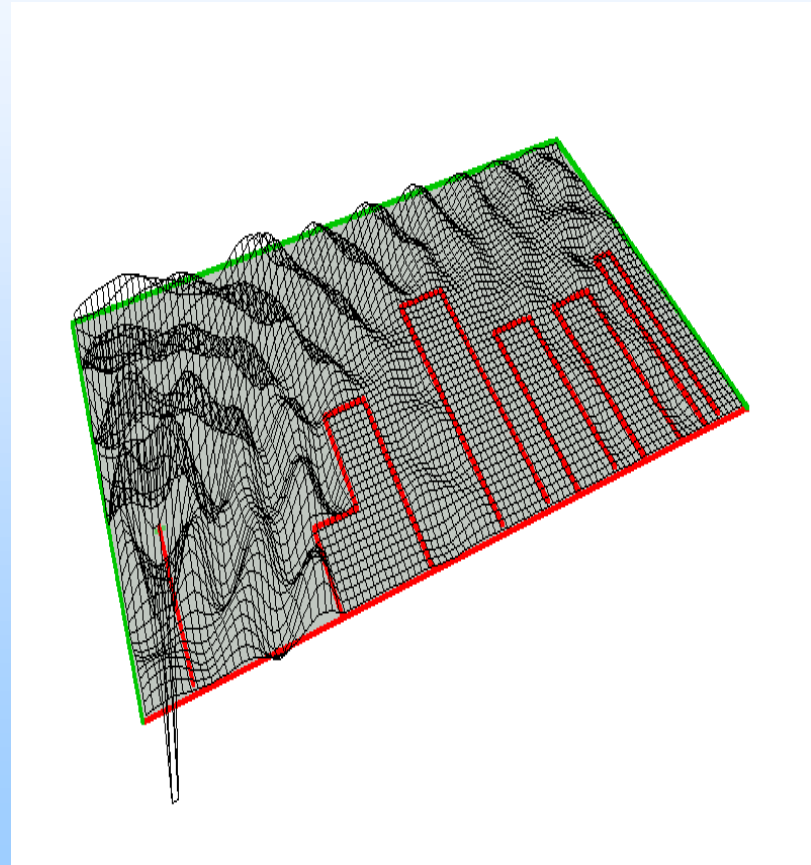


- Utilizar modelo de Lee para macrocelula
- Inclusão de terreno
- Uso de difracao
- Uso de fatores de correção

# **Apresentação** *Estudo estatístico do sinal radio móvel*



- Com a presença de obstáculos no percurso de propagação
  - Com determinadas condições de contorno
- A onda transmitida pode ser guiada
  - Propagação mais complexa
  - Atraso difícil de prever





# *Estudo estatístico do sinal radio móvel*



## ■ Teorema:

### – Limite central da probabilidade

- Um sinal composto de um grande numero de sinais independentes tende a uma distribuição gaussiana
- Ou a distribuição de uma soma de variáveis aleatórias independentes se aproxima de uma gaussiana quando o numero de variáveis aleatórias tende ao infinito

# *Estudo estatístico do sinal radio móvel*



- **Sinal composto de**
  - **Termo de rápida variação**
    - Efeito dos diversos meios onde o sinal passa
    - Fading de longo Prazo
    - Distribuição Log normal
  - **Termo de variação lenta**
    - Efeito de multipercurso
    - Fading de curto prazo
    - Distribuição de Rayleigh

# Fading de longo prazo



- Distribuição log normal
- Aonde
  - $\sigma$  - desvio padrão
  - $m$  - media
  - $x$  e a distancia
  - $x$ ,  $\sigma$  e  $m$  são valores logarítmicos (dB)

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{x-m}{\sqrt{2}\sigma}\right]^2}$$



# Área de Cobertura



- Seja uma célula definida como
  - $M_w$  - potência média de sinal a  $L_w$  metros da ERB
  - $P_L$  - potência média de sinal na borda da célula de raio  $L$

$$M_w = 10 \log(P_L) - 10\alpha \log\left(\frac{L_w}{L}\right)$$

# Área de cobertura



- Deseja-se determinar área de cobertura
  - Proporção ( $\beta$ ) dos locais na periferia  $L$  onde a potência recebida  $W$  é maior que um limiar  $W_0$
  - Proporção ( $\mu$ ) da área circular dada por  $L_w$  que recebe um sinal maior que  $W_0$

# Apresentação *Área de cobertura - calculo de $\beta$*



## ■ Fading Log Normal

$$\beta = 0.5 \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{W_0 - M_w}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right]$$

## ■ Fading Rayleigh

$$\beta = e^{\frac{W_0}{M_w}}$$

# Área de cobertura - calculo de $\mu$



- Fading Log normal ( $K_1=10\log(PL)$ )

$$\mu = \frac{1}{2} \cdot \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left[ \frac{(K_1 - W_0)}{(\sigma_w \sqrt{2})} \right] + \exp \left[ \frac{2(K_1 - W_0) \cdot 10\alpha \cdot \log e + 2\sigma_w^2}{100 \cdot \alpha^2 \cdot \log^2 e} \right] \cdot \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{((K_1 - W_0) \cdot 10\alpha \cdot \log e + 2 \cdot \sigma_w^2)}{(10\alpha \cdot \log e \cdot \sigma_w \sqrt{2})} \right) \right] \right\}$$

- Fading Rayleigh

$$\mu = (2/\alpha) \cdot (K_1/W_0)^{2/\alpha} \cdot \Gamma(2/\alpha, W_0/K_1)$$

$\Gamma$  é a função gama incompleta definida por:

$$\Gamma(x, y) = \int_0^y t^{x-1} \cdot e^{-t} dt$$

# Exemplo - Área de cobertura



- A 10 km de uma ERB tem-se um sinal de -100 dBm. Se o  $\alpha$  e de 3.5 e  $\sigma$  e 5 dB. Pedese
  - Probabilidade que o sinal recebido seja maior que -105 dBm
    - Na área limitada pelo raio da célula
    - Na periferia da célula
  - Qual o tamanho da célula

# Exemplo - Área de cobertura



## ■ Log normal

- $(W_0 - K1)/s = (-105 - (-100))/5 = -1$
- $\beta = 0.83$
- $\mu = 0.95$

## ■ Rayleigh

- $\beta = 0.73$
- $\mu = 0.9$

## ■ Área da célula

–  $L = 10 / (10^{-(105+100)/(10 \cdot 3.5)}) = 13.9 \text{ km}$

# Exemplo - Área de cobertura



## ■ Log normal

- Em geral diz-se que 95% da célula esta coberta com um sinal maior que -105 dBm e 83% da periferia recebe um sinal acima de -105 dBm

## ■ Rayleigh

- Em geral diz-se que 90% da célula esta coberta com um sinal maior que -105 dBm e 73% da periferia recebe um sinal acima de -105 dBm

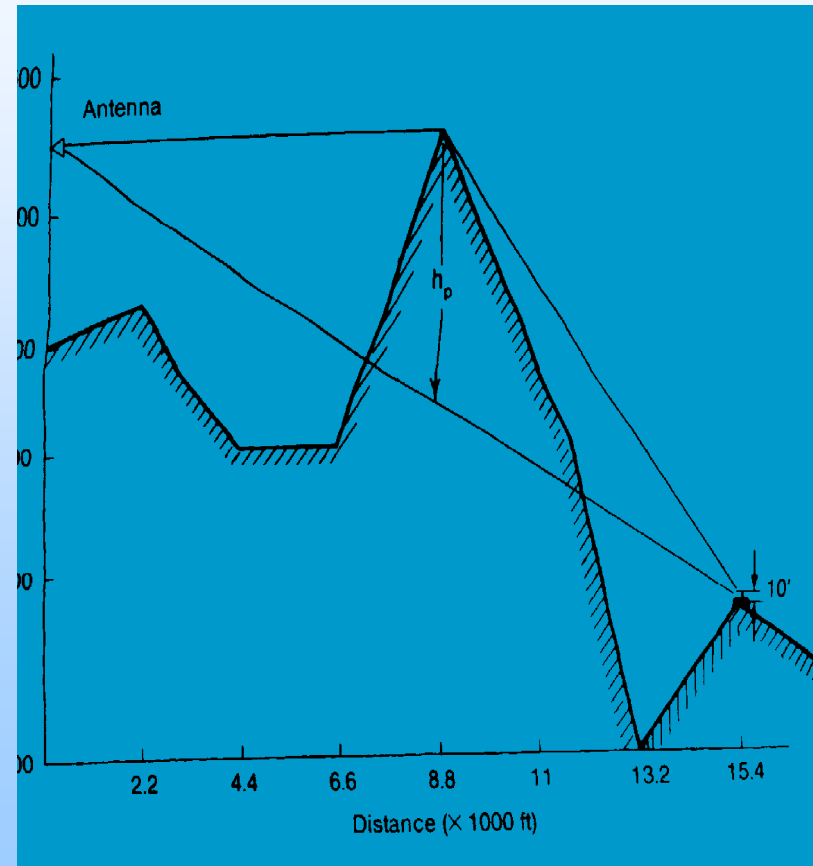
– **Via de regra dada a percentagem e medições desejamos o raio**

## ■ Permitem reavaliação do projeto

- **Modificações quanto ao posicionamento**
- **Modificações quanto a potência**

# Simulação computacional de previsão ponto-a-ponto

- Exemplo: Potência TX 5W, ganho ERB 2dB/dipolo, altura 30 mts, calcule a perda em percurso



# Simulação computacional de predição ponto-a-ponto



Sheet for Example 4.11

Classification of area: suburban  
 Distance: 15,400 ft = 2.92 mi  
 From the curve: (see Fig. 4.3)  
 $P_r = -79.5$  dBm

*New data:*

Transmitter power = 5 W	
Antenna gain = 2 dB per dipole	<i>Corrections:</i>
Antenna height = 300 ft, $20 \log \frac{300}{100} =$	-3 dB
	-4 dB
	<u>+9.5 dB</u>
	+2.5 dB

For flat-terrain case:  
 New path loss  $P'_r = -79.5$  dBm + 2.5 dB = -77 dBm

For shadow-region case:  
 $r_1 = 8800$  ft       $r_2 = 6600$  ft       $h_p = 450$  ft       $f = 850$  MHz  
 $v = -9.63$

$L = 32.6$        $\left[ L = 20 \log \left( \frac{0.225}{v} \right) \right]$

New path loss  $P'_r = -77$  dB - 33 dB = -110 dBm

# Conclusões



- Verificou-se porque a perda no ambiente celular é maior que no espaço livre
- Observou-se como os efeitos das antenas e potência são incluídos como fatores de correção
- Verificou-se a diferença entre os modelos de predição para macrocelula e microcelula