



PREDIÇÃO DE COBERTURA DE SINAL CELULAR NA CIDADE DE ANÁPOLIS UTILIZANDO MODELOS DE PROPAGAÇÃO HATA E ESPAÇO LIVRE

Bruno Augusto Ribeiro Silva¹ - UFG

Palavras-chave: Modelo Hata - Modelo espaço livre – Predição de sinal - Comunicações móveis – Telecomunicações.

Resumo

Este trabalho apresenta um método para predição da intensidade de sinal celular utilizando modelos de propagação de Hata e Espaço Livre, consagrados pela literatura da área. É realizada a análise da situação teórica em que uma operadora de serviços de telecomunicações utiliza somente uma Estação Rádio-Base (ERB) para atender aos usuários do serviço móvel pessoal (celular) da cidade. Esta estação foi posicionada arbitrariamente em um ponto central da cidade, cujo raio de cobertura é de 10 km. Através do desenvolvimento de um algoritmo programado em MatLAB, foi possível mapear a região da cidade com as intensidades de sinal celular que seriam recebidas pelos usuários em cada ponto da cidade de forma satisfatória. Estes resultados podem ser utilizados para fomentar futuras pesquisas objetivando a melhoria da qualidade do sinal celular e o aumento da capacidade de usuários.

Keywords: Hata Model – Free space path loss - Signal prediction – Mobile communications – Telecommunications

Abstract

This paper shows one prediction method for cellular signal intensity using the Hata and Free Space Path Loss propagation models, enshrined in the area literature. It performed the analysis of the theoretical situation in which an operator of telecommunications services using only one radio base-station (RBS) to attend personal mobile service users in the city. This station was arbitrarily positioned in a downtown point, whose coverage radius is 10 km. By

¹ Graduando em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações pela Universidade Federal de Goiás (UFG) – brunoarsilva@hotmail.com



developing an algorithm programmed in MATLAB, it was possible to map the region with the cellular signal intensities that would be received by users at each point of the city satisfactorily. These results can be used to support future researches aiming at improving the quality of cellular signal and increase the capacity of users.

1. Introdução

Atualmente, o acesso ao sistema de telefonia móvel está cada vez maior, o que impõe um aumento do tráfego que é escoado pelas redes. Segundo dados da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), o número de celulares chega a 176,77 milhões no Brasil. Essa quantidade crescente de tráfego requer um planejamento eficaz das operadoras para que um sinal de qualidade seja oferecido a todos os usuários, independente do volume de tráfego ou do horário. Daí a necessidade da modelagem computacional de sistemas de predição de cobertura de sinal para viabilizar e aperfeiçoar o projeto.

O emprego dos modelos depende de fatores que variam muito de acordo com o local de aplicação. Para modelos de predição de sinais de celular, fatores como frequência de operação, distância, topografia e o desenvolvimento urbano da região, além de outras condições dinâmicas, influenciam na comunicação entre o móvel e a Estação Rádio-Base (ERB). A utilização da modelagem, considerando esses parâmetros, permite prever e avaliar o desempenho do sistema, a intensidade do sinal que é recebido em cada ponto da região e as perdas existentes no caminho, possibilitando um planejamento mais refinado e preciso do projeto.

2. Objetivo

Objetiva-se com este trabalho a previsão da intensidade do sinal de celular recebido utilizando os modelos de propagação HATA e Espaço Livre, aplicados com os parâmetros específicos para a região da cidade de Anápolis, utilizando uma única ERB localizada no centro da cidade. Esta situação teórica onde a operadora utiliza apenas uma estação rádio-base foi adotada para restringir o escopo do trabalho, uma vez que quanto maior o número de usuários do sistema de comunicação, maior deve ser a estrutura da operadora para possibilitar o acesso a todos. A configuração estudada poderia eventualmente ser adotada em pequenas cidades com um menor número de usuários, mas seria limitada.



O Quadro 1 apresenta algumas características referentes ao município (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2011) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011).

Quadro 1 – Características do Município de Anápolis.

Indicador	Descrição
População em 2010	333.645
Área total (km ²)	918,375
Densidade populacional (hab/km ²)	363,3
Operadoras Presentes	Claro, Oi, TIM, Vivo
Número de ERBS em Julho de 2011	97

Fonte: IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) e Agência Nacional de Telecomunicações.

3. Metodologia

Para a obtenção da característica topográfica da região de Anápolis, inicialmente foi escolhido um local no centro da cidade para a instalação da ERB. Através do Sistema de Informações Geográficas (SIGAnatel), disponibilizado no sítio da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2011) pôde-se obter os dados de altitude para cada um dos 360 azimutes. Os parâmetros utilizados são as coordenadas de latitude e longitude da ERB, raio de 10 km com passo de 90 metros para cada cota.

Através de um algoritmo desenvolvido para o software MatLab, obteve-se a figura que representa a característica topográfica da região centrada na ERB. A figura 1 mostra o relevo, em vista superior, da região. A linha vertical indica o norte verdadeiro.

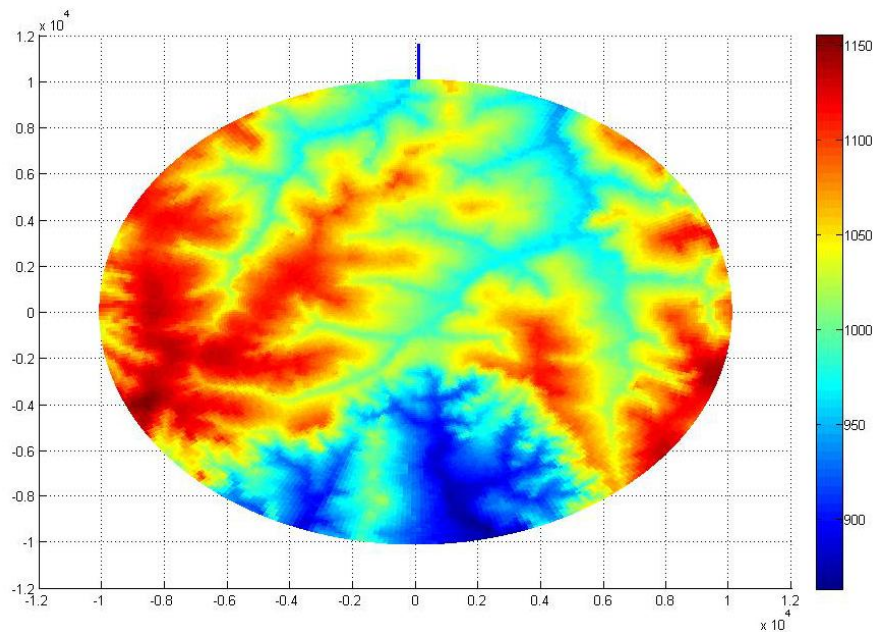


Figura 1 – Modelo 3D do relevo da cidade de Anápolis, vista superior

De posse dessa informação e de observações realizadas na região, foi possível determinar os parâmetros utilizados para a predição da cobertura de sinal através dos modelos do Espaço Livre e de Okumura Hata, que estão listados no quadro abaixo.

Quadro 2 – Parâmetros definidos para cálculos das perdas.

Parâmetros para simulação	
Coordenada Geodésica de Instalação da ERB	Latitude: 16S1946.06 Longitude: 048W5630.41
Altura da Antena (m)	30,00
Altura do Móvel (m)	1,50
Frequência (MHz)	900
Potência transmitida (dBm)	46,00
Ganho da antena ERB (dB)	17,50
Ganho da antena movel (dB)	0,00
Perda nos conectores e cabos (dB)	5,00

4. Modelo de Espaço livre

A região onde não há nenhum tipo de obstrução de sinal e existe a visada direta entre o transmissor e o aparelho móvel receptor é considerada espaço livre. Muitas vezes esta



situação é impraticável, devido a prédios, árvores ou elevações, onde as ondas eletromagnéticas podem sofrer reflexão, difração ou espalhamento. Estes sinais referentes às várias reflexões ocorridas durante o percurso entre o transmissor e o receptor interferem-se causando mudanças de amplitude e/ou fase do sinal, causando o seu desvanecimento (*fading*).

Este modelo propõe que a potência do sinal que é recebido varia inversamente com o quadrado da distância móvel-transmissor, com a frequência de operação e com o tipo de ambiente. Assim, pode-se medir a perda do sinal transmitido através da seguinte equação:

$$L(dB) = 32.44 + 20.\log(f) + 20.\log(d) \quad (1)$$

Onde “f” é a frequência em MHz e “d” é a distância móvel-transmissor em quilômetros. Observa-se que a atenuação aumenta com a frequência.

A fórmula acima é válida para antenas isotrópicas em regiões de campos afastados, também conhecidas como regiões de Fraunhofer. Caso seja necessário incluir os ganhos das antenas, basta incluir as parcelas ao final da fórmula com sinais negativos, pois o ganho na equação 1 representará o inverso da perda.

5. Modelo de Hata Okumura

Okumura expôs em um artigo publicado em 1968 uma série de tabelas e gráficos que representavam a intensidade de sinal recebido variando com a distância em ambientes urbanos. Esses dados possibilitavam a caracterização da atenuação do sinal ao longo do percurso. Doze anos depois, Hata utilizando ferramentas computacionais traduziu os gráficos e tabelas de Okumura em fórmulas matemáticas que eram fiéis aos resultados anteriores nas frequências entre 50 e 1.500 Hz.

O modelo desenvolvido por Hata apresenta uma fórmula padrão para a perda de propagação em regiões urbanas e fatores de correção e adaptação para a aplicação do modelo em regiões suburbanas, estradas ou rurais. Esse modelo incorpora alguns parâmetros ao modelo de espaço livre. A atenuação para um ambiente urbano é definida pela seguinte equação:

$$L(dB) = A + B.\log(d) \quad (2)$$

$$A = 69,55 + 26,16.\log(f) - 13,82.\log(h_B) - a(h_M) \quad (3)$$

$$B = 44.9 - 6,55.\log(h_B) \quad (4)$$



$$a(h_M) = [1,1 \cdot \log(f) - 0,7] \cdot h_M - [1,56 \cdot \log(f) - 0,8] \quad (5)$$

Onde f é a frequência em MHz, h_B e h_M as alturas das antenas transmissora e receptora, em metros, $a(h_M)$ representa fator de correção de ambientes

6. Modelo para cálculo das perdas por difração

Para o cálculo da perda por difração, utilizou-se o modelo de Fresnel-Kirchhoff, que leva em consideração as distâncias entre a primeira e a última interrupção do sinal, como está esquematizado na figura abaixo:

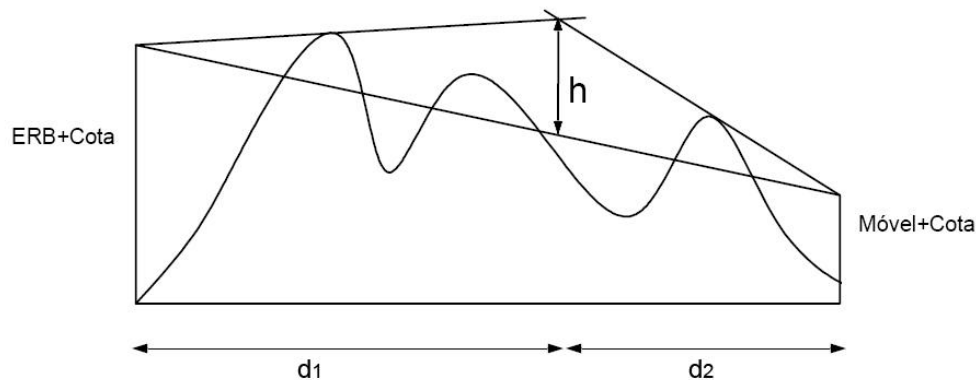


Figura 2 – Modelo para cálculo da perda por difração

O parâmetro v é dado por

$$v = h \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (d_1 + d_2)}{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}} \quad (6)$$

Com o valor encontrado para v , calcula-se a perda por difração

$$L_d = 0dB \quad v \leq -1 \quad (7)$$

$$L_d = 20 \cdot \log(0,5 - 0,62v) \quad -1 \leq v \leq 0 \quad (8)$$

$$L_d = 20 \cdot \log(0,5 \cdot e^{-0,95v}) \quad 0 \leq v \leq 1 \quad (9)$$

$$L_d = 20 \cdot \log\left(0,4 - \sqrt{0,1184 - (0,38 - 0,1v)^2}\right) \quad 1 \leq v \leq 2,4 \quad (10)$$

$$L_d = 20 \cdot \log\left(\frac{0,225}{v}\right) \quad v > 2,4 \quad (11)$$

Para o caso de duas obstruções, em que haverá dois valores para h_p , calcula-se a perda por difração para os dois casos, e soma-se para obter o valor total (LEE, 1989).



7. Resultados e discussões

Através da utilização dos modelos de perdas citados acima, pode-se calcular o valor da intensidade do sinal recebido em cada ponto da região:

$$P_r = P_{tr} + G_b + G_m - L_d - P_c - L \quad (12)$$

Nessa equação, P_r representa a potência recebida, P_{tr} a potência transmitida, G_b o ganho da ERB, G_m o ganho do móvel, L_d a perda por difração, P_c a soma das perdas dos cabos, conectores e demais elementos, e L a perda de cada modelo, todas em dB.

O valor da potência transmitida foi ajustado com base no limiar de potência que pode ser recebida pelo móvel, que é de -102 dBm, sem considerar a perda por difração. Tal ajuste foi necessário para possibilitar que um usuário posicionado em qualquer ponto da região estudada pudesse captar um nível de sinal suficiente para o aparelho se comunicar com a Estação Rádio-Base.

Para a análise da predição de cobertura da intensidade do sinal celular na região, o algoritmo desenvolvido calculou as perdas no caminho entre a ERB e o móvel para diferentes distâncias, inicialmente desconsiderando as perdas por difração. Com o valor das perdas, é possível obter os valores da potência recebida pela estação móvel através da equação 12, que produz curvas de níveis de mesma intensidade de potência.

Para a região da cidade de Anápolis, os valores da intensidade do sinal recebido encontrados através da aplicação da equação 12 estão listados no quadro abaixo:

Quadro 3 – Valores de perdas e potências recebidas

Distância (km)	Perdas no caminho (dB)		Potência Recebida (dB)	
	Hata	Espaço Livre	Hata	Espaço Livre
0,50	115,8	85,5	-57,3	-27,0
1,00	126,4	91,5	-67,9	-33,0
1,50	132,6	95,0	-74,1	-36,5
2,00	137,0	97,5	-78,5	-39,0
2,50	140,4	99,5	-81,9	-41,0
3,00	143,2	101,1	-84,7	-42,6



3,50	145,6	102,4	-87,1	-43,9
4,00	147,6	103,6	-89,1	-45,1
4,50	149,4	104,6	-90,9	-46,1
5,00	151,0	105,5	-92,5	-47,0
5,50	152,5	106,3	-94,0	-47,8
6,00	153,8	107,1	-95,3	-48,6
6,50	155,0	107,8	-96,5	-49,3
7,00	156,2	108,4	-97,7	-49,9
7,50	157,2	109,0	-98,7	-50,5
8,00	158,2	109,6	-99,7	-51,1
8,50	159,1	110,1	-100,6	-51,6
9,00	160,0	110,6	-101,5	-52,1
9,50	160,8	111,1	-102,3	-52,6
10,00	161,6	111,5	-103,1	-53,0

Como pode ser observada, a escolha da potência transmitida pela ERB foi feita com o objetivo de atingir o limiar de -102 dBm na periferia da região de cobertura, que corresponde às distâncias entre 9,5 e 10 km. As perdas obtidas com o modelo Hata são maiores, como era de se esperar, pois este modelo considera outros fatores de perdas além do espaço livre.

O modelo Hata produz valores de perdas em média 43% maiores se comparado com os valores obtidos para o Espaço Livre. Verifica-se também que essa diferença aumenta gradualmente com a distância, sendo que a taxa de crescimento dessa diferença é inversamente proporcional à distância móvel-ERB.

As figuras 3 e 4 ilustram a intensidade do sinal recebido em cada ponto para os modelos de Hata e Espaço livre, sem a consideração da perda por difração de Fresnel.

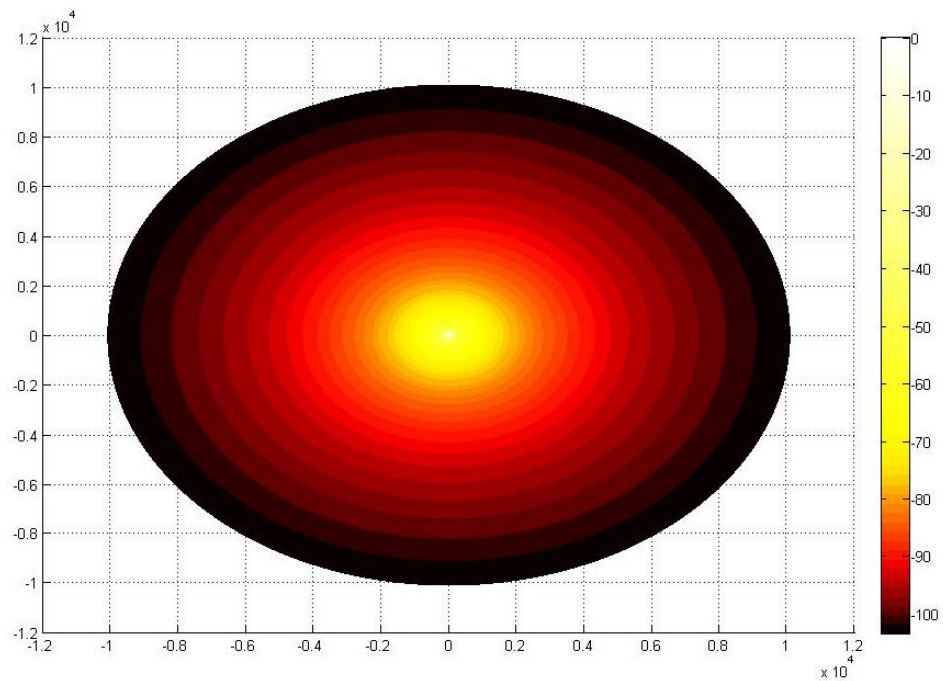


Figura 3 – Modelo de potência recebida para HATA

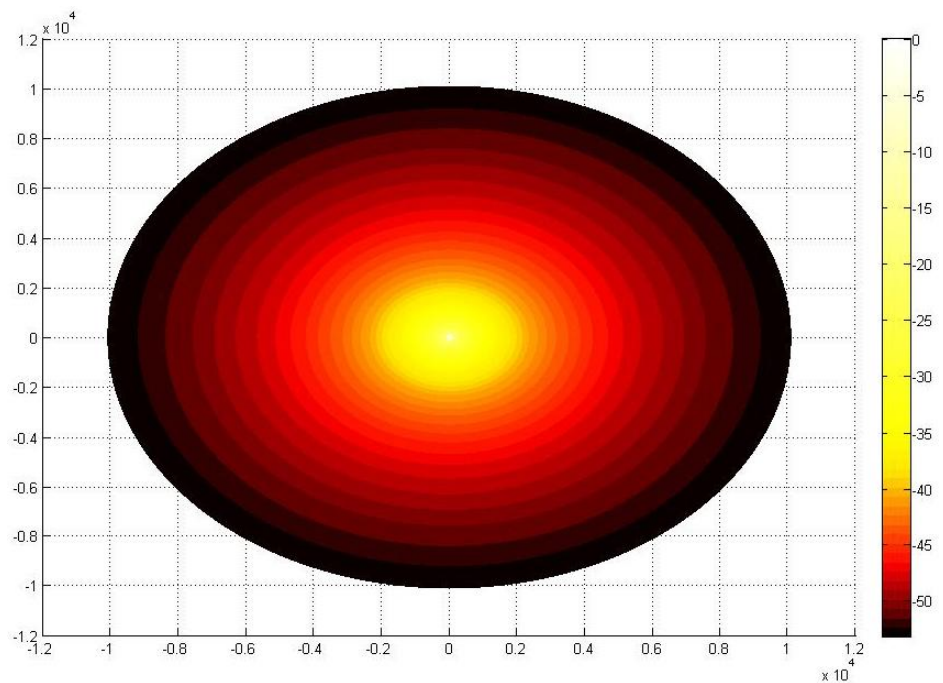


Figura 4 – Modelo de potência recebida para Espaço Livre

Ao acrescentar as perdas por difração aos modelos de Hata e de Espaço Livre, pode-se observar uma mudança significativa nos resultados obtidos para a intensidade do sinal recebido. As figuras 5 e 6 representam esses valores:

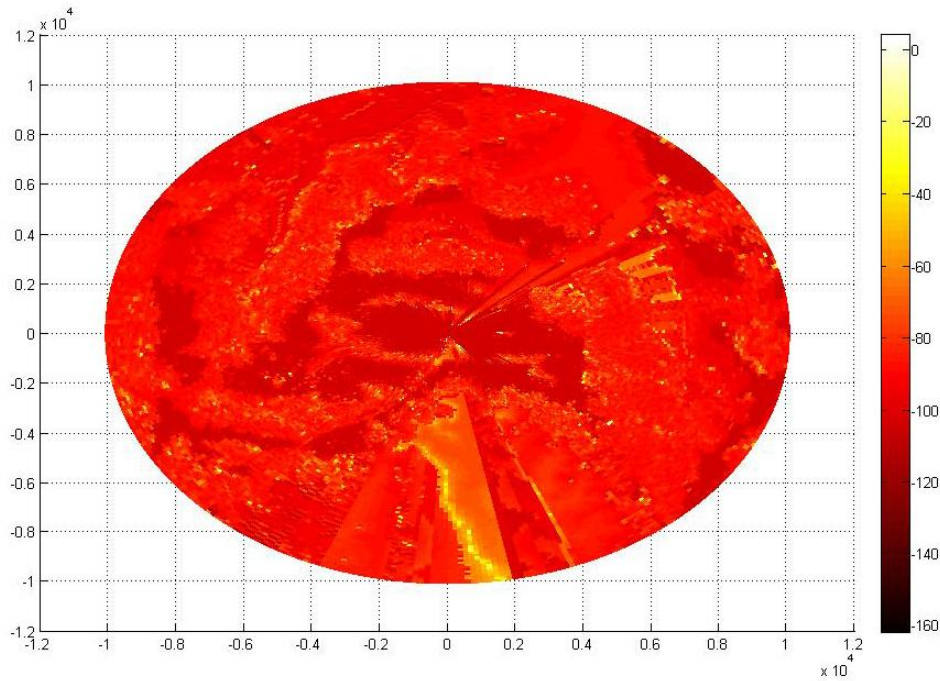


Figura 5 – Potência recebida ponto a ponto para modelo Hata

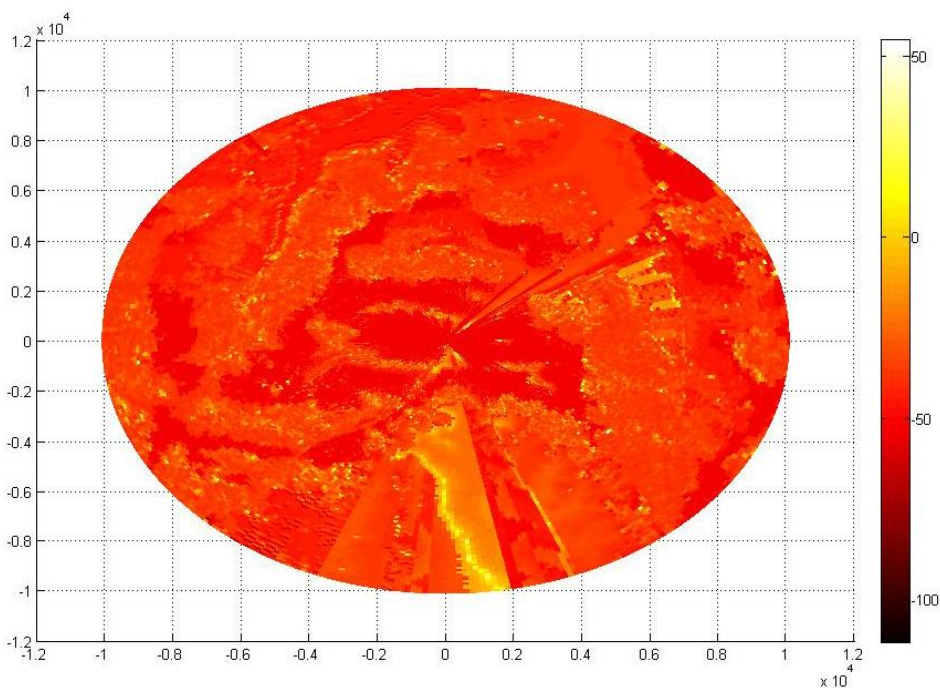




Figura 6 – Potência recebida ponto a ponto para modelo Espaço Livre

Os dois modelos, quando consideram as perdas e interrupções por difração, evidenciam a grande influência da topografia da região na transmissão do sinal de celular. Quanto mais acidentado for o terreno, com pico, vales e montanhas, a probabilidade de interrupções da visada direta entre a ERB e o móvel é maior, aumentando assim as perdas por difração.

5. Conclusões

A predição da cobertura de sinal de celular na cidade de Anápolis utilizando apenas uma ERB pode ser realizada. A determinação dos parâmetros do projeto como altura e localização da ERB, potência transmitida e ganho das antenas transmissora e receptora são de fundamental importância para garantir resultados satisfatórios. Os resultados mostram que a intensidade do sinal recebido com o modelo de Espaço Livre é de qualidade superior ao modelo de Hata, como era esperado, pelo fato das perdas do primeiro modelo ser menores.

6. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Sítio da Agência Nacional de Telecomunicações**. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br>>. Acesso em: 26 jul. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 26 jul. 2011.

LEE, W. C. Y. **Mobile Cellular Telecommunications Systems**. New York: McGraw Hill International Editions, 1989.

MENDONÇA, L. A. **Análise da propagação de ondas eletromagnéticas em canais com desvanecimento**. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado em Telecomunicações) – Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí. 2002.

RAMALHO, G. R. **Uma ferramenta de predição e avaliação de cobertura para sistemas de comunicação ponto-área**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Telecomunicações) – Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí. 2006.

KALYANASUNDARAM, Ayyappan; PERUMAL, Dananjayan. PROPAGATION MODEL FOR HIGHWAY IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEM. **Ubiquitous Computing And Communication Journal**, Suwon, South Korea, v.3, n.4, set. 2008.