

USO DE SOFTWARE EDUCATIVO PARA PREDIÇÃO DA COBERTURA CELULAR EM CURSOS DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA

Getúlio Antero de Deus Júnior – getulio@eeec.ufg.br

David Sue Alves Diniz – david_sue9@yahoo.com.br

Gustavo Batista de Castro Souza – gustavo2x4@gmail.com

Moisés Vinícius Silva Rodrigues – moisesvsrm@hotmail.com

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação

Avenida Universitária, nº. 1.488, quadra 86, bloco A, Setor Leste Universitário, 3º andar,

Campus Colemar Natal e Silva

Telefone: +55 (62) 3209-6070 – FAX: +55 (62) 3209-6292

CEP 74605-010 – Goiânia – Goiás – Brasil

Resumo: *Este trabalho tem como principal proposta a apresentação de um software educativo que possibilite a predição de cobertura celular através do uso de parâmetros topográficos (relevo) e específicos (alturas das antenas transmissora e receptora, grau de urbanização do terreno e distância entre as estações transmissora e receptora) para a obtenção de informações relevantes, durante a transmissão e a recepção de sinais na comunicação móvel, que são as previsões dos valores de perda e da potência recebida pela antena móvel em determinada área do terreno. Esses dados se baseiam nos principais modelos matemáticos para os cálculos da perda e da potência recebida, a saber: Espaço Livre, Lee, Hata, COST-231 Hata e COST-231 Walfish-Ikegami. No tocante à tecnologia nas comunicações móveis, o Brasil passa por uma transição da hegemonia de mercado do padrão CDMA para o sistema GSM, cujo número de terminais móveis cresce quase lado a lado com a população brasileira. A proposta de uso do software educativo para predição da cobertura celular foi implementada por meio da Aprendizagem Baseada em Problemas (do inglês: Problem Based Learning - PBL) na disciplina de Sistemas de Comunicações Móveis do Curso de Engenharia Elétrica e de Engenharia de Computação da EEEC/UFG.*

Palavras-chave: *Comunicações móveis, Software educacional, Propagação Hata, Propagação Espaço Livre, Propagação Walfish-Ikegami.*

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicações móveis celulares são uma das aplicações de radiofrequência com maior impacto na sociedade. O objetivo destes sistemas é proporcionar um canal de comunicação entre utilizadores, cuja posição é desconhecida, e que possam estar em movimento sem qualquer restrição de localização.

A predição da área de cobertura é um passo importantíssimo para o planejamento do sistema de comunicações móveis (KALYANASUNDARAM; PERUMAL, 2008). Os modelos de predição de cobertura consideram em sua formulação, informações sobre a topografia, grau de urbanização do terreno, ganhos e perdas dos elementos utilizados, alturas das antenas e diferem em sua aplicabilidade, sendo alguns de aplicação geral e outros úteis em situações mais específicas.

Neste trabalho é proposta a utilização de um *software* educacional para predição de cobertura celular considerando vários ambientes de propagação para modelagem do canal. Essa proposta fundamenta-se no elevado preço de um *software* comercial e também na

dificuldade encontrada na predição de cobertura celular apresentados em (DEUS JÚNIOR, QUEIROZ, 2010) e (DEUS JÚNIOR, SILVA, 2010), onde foi considerada uma única Estação Rádio Base (ERB), localizada didaticamente no centro da cidade de Pirenópolis (Goiás) e Anápolis (Goiás), respectivamente. O *software* proposto pode ser usado na disciplina de Comunicações Móveis dos Cursos de graduação de Engenharia Elétrica e de Engenharia de Computação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação (EEEC) da Universidade Federal de Goiás (UFG). O *software* foi desenvolvido pelos alunos de uma das turmas dessa disciplina, como o “grande problema” a ser resolvido por meio da metodologia de ensino PBL centrada no aluno (RIBEIRO, 2005).

Este artigo está dividido em cinco seções. A Seção 1 apresenta a introdução. Na Seção 2 são apresentadas algumas características das comunicações móveis em termos da tecnologia empregada. A Seção 3 apresenta os parâmetros de simulação e os modelos de propagação de canal mais utilizados para análise da intensidade do nível do sinal em comunicações móveis. A partir dos resultados teóricos encontrados, na Seção 4, é proposto um *software* educacional para predição da cobertura do sinal de sistemas de comunicações móveis. E as considerações finais deste trabalho são apresentadas na Seção 5.

2 COMUNICAÇÕES MÓVEIS

Atualmente, é inegável o desenvolvimento das comunicações móveis digitais no Brasil e no mundo. Não obstante, este desenvolvimento apenas é possível de ser concretizado através do uso de tecnologias de transmissão digital cada vez mais sofisticadas. O estudo das características da transmissão digital móvel significa, quase sempre, um estudo de diferentes aspectos da implantação de uma rede de comunicação sem fio.

A Teoria da Informação moderna consegue prover algumas ferramentas de análise de uma rede de comunicações sem fio: o estudo de canais de múltiplos usuários e o estudo de diferentes modelos de canais com desvanecimento. A sugestão de técnicas extremamente eficientes de codificação/modulação e decodificação/demodulação para canais de múltiplos usuários como também para canais com desvanecimento são dois aspectos de fundamental importância para o desenvolvimento de transmissão de um sistema de comunicação móvel sofisticado. Muitas propostas de sistemas de telefonia já foram testadas na prática, outras estão em fase experimental de pesquisa. A elevada demanda para os serviços de telecomunicações é uma forte razão para o esforço de prover avanços nesta linha de pesquisa tão atrativa econômica e tecnologicamente.

No Brasil, as operadoras de serviço móvel digital celular concentram sua ação no melhor aproveitamento de suas plantas, principalmente em novos serviços, ou no melhoramento dos já existentes. Entretanto, numa visão muito otimista, a tecnologia para os sistemas de quarta geração (4G), deverá ser modificada radicalmente para o atendimento de novos serviços (como dados) ou então, deverá ser no mínimo modificada para a implementação de novos serviços via *software*.

Em Deus Júnior (2002), é apresentada uma proposta de utilização de sistemas FFH-CDMA não codificados e codificados. Tecnicamente, parece que “a morte” do melhor sistema de telefonia móvel celular, o CDMA (do inglês: *Code Division Multiple Access*), se dará em Setembro deste ano (PORTAL INFO ONLINE, 2011). Assim, tudo indica que o melhor sistema comercial, o GSM (do inglês: *Global System Mobile*), irá vencer a sua longa batalha no mercado nacional. A Tabela 1 apresenta o número de terminais móveis, por tecnologia, catalogados pela Agência Nacional de Telecomunicações (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2011). Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram o crescimento considerável do GSM no Brasil e a redução no número de terminais CDMA, desde 2007. Na contramão, note que a tecnologia WCDMA (banda larga 3G para o CDMA) cresceu desde a sua implantação em 2008 e o tempo irá dizer se esta tecnologia 3G irá ser

mantida pela empresa VIVO. É importante ressaltar que a rede CDMA da VIVO possui quinze anos de uso e foi a que mais tempo ficou em funcionamento no Brasil. A rede WCDMA é uma rede bem mais nova.

Tabela 1 - Número de terminais móveis, por tecnologia (ANATEL, 2011).

Ano	AMPS	CDMA	TDMA	GSM	WCDMA	CDMA2000	Terminais de Dados
2005	148.653	24.022.557	17.410.392	44.628.734	0	0	0
2006	61.462	26.004.137	10.308.448	63.544.574	0	0	0
2007	15.581	20.881.790	5.157.187	94.925.545	0	0	0
2008	11.546	12.732.287	1.055.477	130.060.655	1.654.536	452.816	673.002
2009	3.891	7.868.569	311.304	157.111.161	4.090.659	0	4.573.784
2010	0	4.181.936	25.440	178.108.707	14.613.895	0	6.014.055
2011	0	3.948.641	16.049	178.618.642	16.469.187	0	60.98.458

3 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO E MODELOS DE PROPAGAÇÃO DE CANAL

Para a execução do presente trabalho, alguns procedimentos foram realizados. Utilizando os dados do “Sistema de Informações Geográficas” (SIGAnatel), disponibilizado no sítio da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2011), foi realizado o levantamento topográfico para a cidade de Goiás, com previsão da região de coberta num raio de 12 km, sendo obtidos pontos de 90 em 90 metros, com variação do azimute de grau em grau. O ponto central para instalação da ERB na cidade de Goiás escolhido foi o centro da cidade. Com o uso de linguagem de programação, utilizando o MATLAB, elaborou-se um gráfico 3D da cidade, onde todo o relevo pode ser observado, em vista superior.

Os parâmetros predefinidos e apresentados no Quadro 1 foram utilizados nos cálculos das perdas e potência do sinal recebido. É interessante observar que vários modelos de predição padronizados foram propostos na literatura, sendo os mais conhecidos são: (a) modelo de propagação no Espaço Livre; (b) modelo de propagação Hata; (c) modelo de propagação de Lee; (d) modelo de propagação COST-231 de Hata; (e) modelo de propagação COST-231 de Walfish-Ikegami. Esses modelos serão apresentados a seguir.

O modelo de propagação no Espaço Livre é usado para predição da intensidade de um sinal quando as duas pontas do enlace apresentam entre elas uma linha de visada não-obstruída por obstáculo. A potência recebida decai com o aumento da distância entre a ERB e o terminal móvel. Considerando antenas isotrópicas ($G_t = G_r = 1$), a perda em dB para o modelo de propagação em Espaço Livre será dada por (LEE, 1989):

$$L = 20 \log f_c + 20 \log d + 32,44, \quad (1)$$

onde f_c é a frequência e d é a distância entre a antena transmissora e receptora.

Quadro 1 - Parâmetros de simulação predefinidos para os cálculos das perdas.

Coordenada Geodésica de Instalação da ERB (Goiás)		Latitude = 15°56'34,26'' S Longitude = 50°08'25,93'' W	
Altura da Antena da ERB, h_t (m)	30,00	Ganho da antena móvel, G_r (dBi)	0,00
Altura do Móvel, h_r (m)	1,50	Perda nos conectores e cabos, P_c (dB)	5,00
Frequência, f_c (MHz)	900,00	Separação entre as construções, b (m)	20,00
Potência transmitida, P_t (dBm)	50,00	Altura dos prédios, h_{Roof} (m)	5,00
Ganho da antena ERB, G_t (dBi)	17,50	Ângulo de orientação ϕ (em graus)	90°

O modelo de propagação de Hata, proposto inicialmente por Yoshihisa Okumura, em 1968, é válido para frequências entre 150 MHz e 1500 MHz, distâncias até 20 km, e ERB

com altura entre 30 m e 300 m. A perda em dB para o modelo de Hata é dada por (LEE, 1989):

$$L = A - A(h_r) + B \cdot \log(d), \quad (2)$$

onde

$$A = 69,55 + 26,16 \cdot \log(f_c) - 13,82 \cdot \log(h_t), \quad (3)$$

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \log(f_c) - 0,7) \cdot h_r - (1,56 \cdot \log(f_c) - 0,8) \text{ (cidades de porte médio)}, \quad (4)$$

$$A(h_r) = 8,29 \cdot \log^2(1,54 \cdot h_r) - 1,1 \text{ (} f < 300 \text{ MHz e para grandes cidades)}, \quad (5)$$

$$A(h_r) = 3,2 \cdot \log^2(11,75 \cdot h_r) - 4,97 \text{ (} f \geq 300 \text{ MHz e)}, \quad (6)$$

$$B = (44,9 - 6,55 \cdot \log(h_t)), \quad (7)$$

para $1 \text{ m} \leq h_r \leq 10 \text{ m}$, $150 \text{ MHz} \leq f_c \leq 2000 \text{ MHz}$, $30 \text{ m} \leq h_t \leq 300 \text{ m}$ e $1 \text{ km} \leq d \leq 20 \text{ km}$.

A formulação geral para a potência do sinal recebido previsto pelo modelo de Lee é dada por (SAMPAIO, 2007):

$$P_r = -61,7 - 38,4 \cdot \log(d) - n \cdot \log(f_c/900) + \alpha_0 \text{ dBm (Suburbano)},$$

$$P_r = -70 - 36,8 \cdot \log(d) - n \cdot \log(f_c/900) + \alpha_0 \text{ dBm (Filadélfia) e}$$

$$P_r = -64 - 43,1 \cdot \log(d) - n \cdot \log(f_c/900) + \alpha_0 \text{ dBm (Newark)}, \quad (8)$$

onde

$$\alpha_0 = 20 \cdot \log(h_t) + 10 \cdot \log(P_t) + g_1 + g_2 + 10 \cdot \log(h_r) - 64, \quad (9)$$

com P_t , em watts, e P_r , em dBm, que correspondem, respectivamente, às potências transmitida pela ERB e recebida pela EM, h_t e h_r em metros, d em quilômetros e f_c em MHz.

O modelo de propagação COST-231 de Hata é baseado na proposta para extensão do modelo de Okumura-Hata, sendo a perda calculada por (SAMPAIO, 2007):

$$L = A + B \cdot \log(d) + C, \quad (10)$$

onde

$$A = 46,3 + 33,9 \cdot \log(f_c) - 13,82 \cdot \log(h_t) - A(h_r), \quad (11)$$

$$B = 44,9 - 6,55 \cdot \log(h_t) \text{ e} \quad (12)$$

$$C = \begin{cases} 0, & \text{areas suburbanas} \\ 3, & \text{areas urbanas} \end{cases}, \quad (13)$$

para $1 \text{ m} \leq h_r \leq 10 \text{ m}$, $150 \text{ MHz} \leq f_c \leq 2000 \text{ MHz}$, $30 \text{ m} \leq h_t \leq 300 \text{ m}$ e $1 \text{ km} \leq d \leq 20 \text{ km}$.

O Modelo COST-231 de Walfish-Ikegami é aplicado quando a altura da antena da ERB está acima ou abaixo do nível dos edifícios. Assim, a perda para a propagação em linha de observação (LOS), ou seja, quando a altura da ERB está acima do nível dos edifícios, é dada por (SAMPAIO, 2007):

$$L = 42,6 + 26 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f_c) \text{ (} d \geq 20 \text{ m)}, \quad (14)$$

onde d é a distância em km e f_c é a frequência da portadora em MHz.

A perda de propagação com a linha de observação obstruída (NLOS) é expressa em termos da altura dos prédios, h_{Roof} , extensão das ruas, w , separação das construções, b , e o ângulo de orientação em relação a direção de propagação, ϕ . Neste caso, a perda é dada por (SAMPAIO, 2007):

$$L = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{smd}, & \text{para } L_{rts} + L_{smd} \geq 0 \\ L_0, & \text{para } L_{rts} + L_{smd} < 0 \end{cases}, \quad (15)$$

onde $L_0 = 32,4 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f_c)$ é a perda de propagação em espaço livre. A perda por difração de gume-de-faca é:

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \cdot \log(w) + 10 \cdot \log(f_c) + 20 \cdot \log(\Delta h_r) + L_{ori}, \quad (16)$$

com

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354(\phi), & 0 \leq \phi \leq 35^\circ \\ 2,5 + 0,075(\phi - 35), & 35^\circ < \phi \leq 55^\circ \\ 4 - 0,114(\phi - 55), & 55^\circ < \phi \leq 90^\circ \end{cases} \quad e \quad (17)$$

$$\Delta h_r = h_{roof} - h_r. \quad (18)$$

A perda por difrações múltiplas é dada por

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log(d) + k_f \cdot \log(f_c) - 9 \cdot \log(b), \quad (19)$$

com

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \log(1 + \Delta h_t), & h_t > h_{Roof} \\ 0, & h_t \leq h_{Roof} \end{cases}, \quad (20)$$

$$k_a = \begin{cases} 54, & h_t > h_{Roof} \\ 54 - 0,8 \cdot \Delta h_t, & d \geq 0,5 \text{ km e } h_t \leq h_{Roof} \\ 54 - 0,8 \cdot \Delta h_t \cdot (\frac{d}{5}), & d < 0,5 \text{ km e } h_t \leq h_{Roof} \end{cases}, \quad (21)$$

$$k_d = \begin{cases} 18, & h_t > h_{roof} \\ 18 - 15 \cdot \Delta h_t / h_{roof}, & h_t \leq h_{roof} \end{cases}, \quad (22)$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0,7(f_c/925 - 1), & (\text{área suburbana}) \\ -4 + 1,5(f_c/925 - 1), & (\text{área urbana}) \end{cases} \quad e \quad (23)$$

$$\Delta h_t = h_t - h_{Roof}. \quad (24)$$

O modelo COST231 de Walfish-Ikegami é válido para os seguintes parâmetros: frequência da portadora $800 \text{ MHz} \leq f_c \leq 2000 \text{ MHz}$, altura da ERB $4 \text{ m} \leq h_t \leq 50 \text{ m}$, altura da estação móvel $1 \text{ m} \leq h_r \leq 3 \text{ m}$ e distância $0,02 \text{ km} \leq d \leq 5 \text{ km}$. Como referência, podem ser usados os seguintes valores para: $b = 20 \dots 50 \text{ m}$, $w = \frac{b}{2}$, $\phi = 90^\circ$ e

$h_{Roof} = 3 \cdot \text{número de pavimentos} + \text{cobertura dos prédios (m)}$. O modelo trabalha melhor com $h_t \geq h_{Roof}$.

Para o cálculo da perda por difração, houve a necessidade de se saber as distâncias da primeira e da última interrupção, ou da única, caso haja apenas uma. Com as distâncias, é possível calcular essas perdas com a fórmula de Fresnel-Kirchhoff, e então determinar a potência recebida para cada modelo, em cada ponto (LEE, 1989). A potência recebida será dada por

$$P_r = P_t + G_t + G_r - G_d - P_c - L, \quad (25)$$

onde P_r é a potência recebida no ponto, P_t é a potência transmitida, G_t o ganho da ERB, G_r o ganho do móvel, G_d é a perda por difração (LEE, 1989), P_c a soma das perdas dos cabos, conectores e demais elementos, e L é a perda para cada modelo. É importante ressaltar que a potência transmitida foi calculada com base no limiar de potência recebida do móvel, que é -102 dBm, sem considerar a perda por difração. A perda por difração deve ser considerada para o modelo espaço livre e modelo de Hata.

A Figura 2 apresenta o modelo para o cálculo da perda por difração. O ganho de difração é função do parâmetro de difração de *Fresnel-Kirchoff*, e é calculado conforme Rappaport (1996):

$$G_d = 0, \quad v \leq -1, \quad (26)$$

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

$$G_d = 20 \cdot \log(0,5 \cdot \exp(-0,95 \cdot v)), \quad 0 \leq v \leq 1,$$

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

$$G_d = 20 \cdot \log(0,225/v), \quad v \geq 2,4$$

onde o coeficiente de *Fresnel-Kirchoff* é $v = h \sqrt{\frac{2 \cdot (d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$.

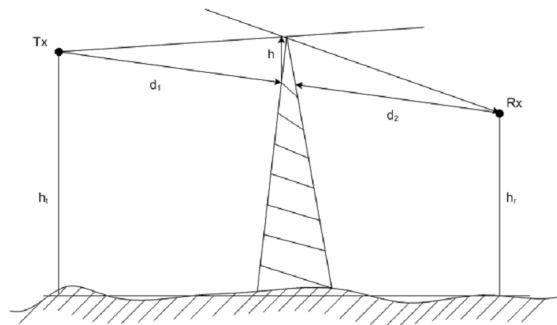


Figura 2 – Modelo para o cálculo da perda por difração gume-de-faca.

As Tabelas 2 e 3, respectivamente, apresentam os valores da potência recebida (dB) e da perda na propagação (dB) para determinadas distâncias, d , entre a ERB e a estação móvel, de acordo com os modelos explicitados.

Tabela 2 - Valores da potência recebida para algumas distâncias prévias.

d (km)	Espaço Livre	Hata (grande Porte)	Hata (médio Porte)	Lee (pequeno porte)	Lee (médio porte)	Lee (grande Porte)	COST-231 Hata (suburbana)	COST-231 Hata (urbana)
0,5	-23,0043	-	-	-40,3371	-41,2223	-49,1188	-52,9322	-55,9154
1,0	-29,0249	-63,9201	-63,9033	-51,8967	-54,1967	-60,1967	-63,5359	-66,5191
1,5	-32,5467	-70,1229	-70,1061	-58,6586	-61,7862	-66,6768	-69,7387	-72,7219
2,0	-35,0455	-74,5238	-74,507	-63,4562	-67,1711	-71,2746	-74,1397	-77,1229
2,5	-36,9837	-77,9375	-77,9207	-67,1776	-71,3479	-74,8409	-77,5533	-80,5365
3,0	-38,5673	-80,7266	-80,7098	-70,2181	-74,7606	-77,7547	-80,3425	-83,3257
3,5	-39,9062	-83,0848	-83,068	-72,7889	-77,646	-80,2184	-82,7006	-85,6838
4,0	-41,0661	-85,1276	-85,1108	-75,0158	-80,1454	-82,3525	-84,7434	-87,7266
12,0	-50,6085	-101,933	-101,933	-93,3372	-100,709	-99,9105	-101,549	-104,549

Tabela 3 - Valores das perdas para algumas distâncias prévias.

d (km)	Espaço Livre	Hata (grande porte)	Hata (médio porte)	COST-231 Hata (suburbana)	COST-231 Hata (urbana)
0,5	85,5042	-	-	115,4332	118,4154
1,0	91,5248	126,4201	126,4033	126,0359	129,0191
1,5	95,046	132,6229	132,6061	132,2387	135,2219

2,0	97,5454	137,0238	137,007	136,6397	139,6229
2,5	99,4836	140,4375	140,4207	140,0533	143,0365
3,0	101,067	143,2266	143,2098	142,8425	145,8257
3,5	102,406	145,5848	145,568	145,2006	148,1838
4,0	103,566	147,6276	147,6108	147,2434	150,2266
12,0	113,108	164,4332	164,4332	164,049	167,049

4 PROPOSTA DE SOFTWARE EDUCACIONAL PARA PREDIÇÃO DA COBERTURA DO SINAL DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS

Para a realização do presente trabalho, foram realizados alguns procedimentos dentro da proposta da metodologia de ensino utilizada de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) (RIBEIRO, 2005). Primeiramente, a partir da formulação do problema de predição de cobertura do nível de intensidade de sinal, vários estudos foram realizados com o “Sistema de Informações Geográficas” (SIGAnatel). A partir de várias intervenções do professor tutor da disciplina e os estudantes da disciplina de Sistemas de Comunicações Móveis do primeiro semestre de 2011 da EEEC/UFG, a implementação de modelos matemáticos e testes foram realizados utilizando o *software* MATLAB (fase de teste de modelos).

Como pode ser verificado nos resultados apresentados na Tabela 2, procurou-se fazer com que o sinal recebido ficasse em torno de -102 dBm, para a cobertura de uma única ERB num raio de 12 km, considerando os modelos de espaço livre, de Hata (médio porte), de Lee (médio porte) e COST-231 de Hata (suburbana). Portanto, desconsiderando-se a perda por difração, os mapas de cobertura expresso por meio da potência recebida ponto a ponto para os modelos de espaço livre e de Hata, são apresentados nas Figuras 3(a) e 3(b), respectivamente.

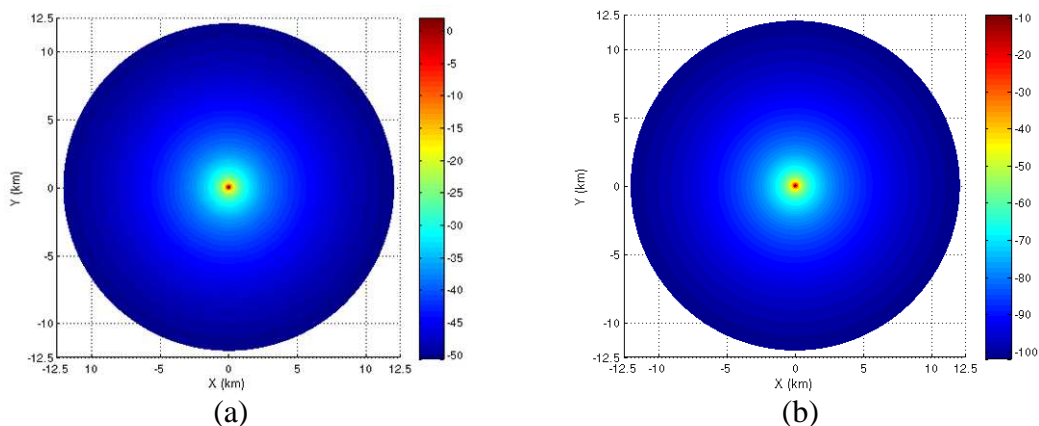


Figura 3 - Potência recebida ponto a ponto: (a) espaço livre; (b) HATA.

Após a obtenção do relevo (Figura 1), foram calculados os pontos onde há obstrução, ou seja, onde não há visada direta entre a ERB e o móvel. Posteriormente, as perdas para os modelos de espaço livre e de Hata foram determinadas, ponto a ponto, utilizando o relevo obtido. Ao acrescentar a perda por difração às perdas previstas pelos modelos de espaço livre e de Hata, percebe-se uma alteração no valor da potência recebida (alteração no mapa da cobertura do sinal), conforme apresentado na Figura 4. Portanto, quando há obstrução do sinal, o usuário deverá procurar fugir das “regiões de sombra” para melhorar a sua recepção do sinal transmitido pela ERB.

A partir dos resultados apresentados na Figura 3, pode-se perceber que há uma cobertura do sinal em 100% da região numa célula com 12 km de raio quando o modelo de espaço livre com perda por difração quando há obstrução da linha de visada entre o móvel e a ERB, ou seja, é possível ter um nível de sinal igual a -102 dBm em toda a célula. O mesmo não ocorre quando o modelo Hata é considerado. Esse resultado é muito forte, porque o modelo de

espaço livre, considerando a perda por difração quando há obstruções, é muito próximo da realidade e a grande maioria dos modelos apresentados, de alguma forma ou de outra, leva em conta a problemática do canal móvel.

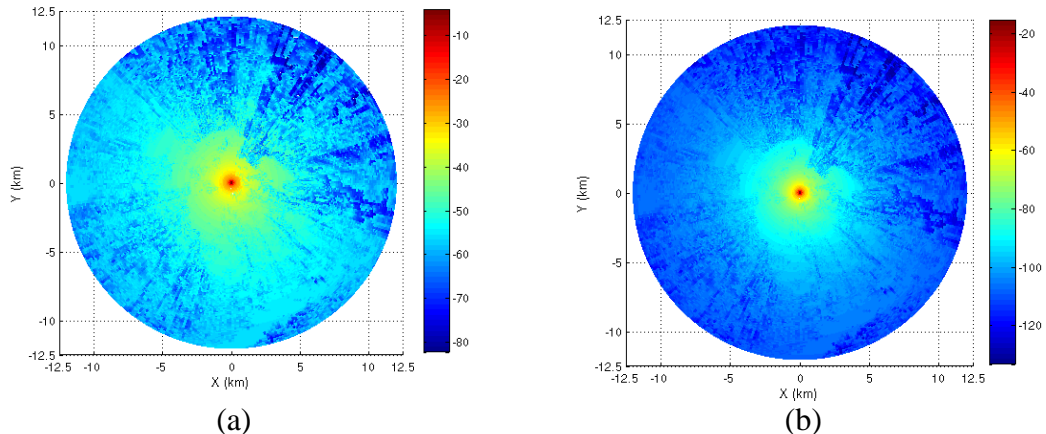


Figura 3 - Potência recebida ponto a ponto, considerando a perda por difração:
(a) espaço livre; (b) HATA.

A partir dos estudos e resultados encontrados na primeira etapa da solução do problema, outras seções tutoriais foram realizadas utilizando a metodologia PBL. Assim, os requisitos do *software* foram levantados para a segunda etapa da solução do problema: (a) um *software* capaz de responder com o nível de intensidade do sinal para os modelos apresentados nesse trabalho, num clique de mouse (ponto da tela); (b) um *software* escalável, que utilize a plataforma web e as bibliotecas do *Google Maps*; (c) um *software* simples capaz de responder, em alguns casos, o nível de intensidade do sinal considerando a perda por difração quando necessário. Assim, a tela principal do *software* proposto é apresentada na Figura 4. Observe que todos os parâmetros de entrada dos modelos de predição podem ser alterados na tela principal do *software*. No item “Mapa”, se o usuário escolher ‘Livre’, poderá selecionar a localização da ERB e a posição da antena móvel numa tela seguinte. Por outro lado, se escolher “Cidade de Goiás” poderá selecionar apenas a posição da estação móvel, pois a ERB está numa posição pré-definida (ver Quadro 1).

Forneça abaixo os dados necessários para o cálculo da potência recebida:

Altura da Antena Transmissora (m): 30
 Altura da Antena Receptora (m): 1.5
 Potência Transmitida (dBm): 50
 Ganho de Potência Transmissora (dBi): 17.5
 Ganho de Potência Receptora (dBi): 0
 Frequência (MHz): 900
 Perda Conector (dB): 1.5
 Perda Cabo (dB): 2
 Perda Duplexer (dB): 1.5
 Cidade: Pequena Média Grande
 Mapa: Livre Cidade de Goiás Itaberaí Mineiros

--- Modelo Cost231-Walfish-Ikegami ---

Altura média dos prédios (m): 5
 Extensão média das ruas (m): 10
 Separação média entre construções (m): 20
 Orientação em relação a direção de propagação (graus): 90

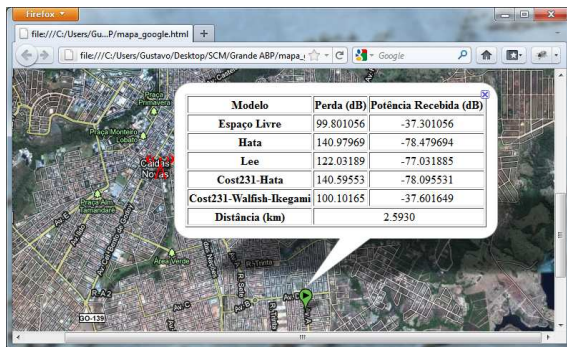
OK

Dê um primeiro clique para definir a Antena

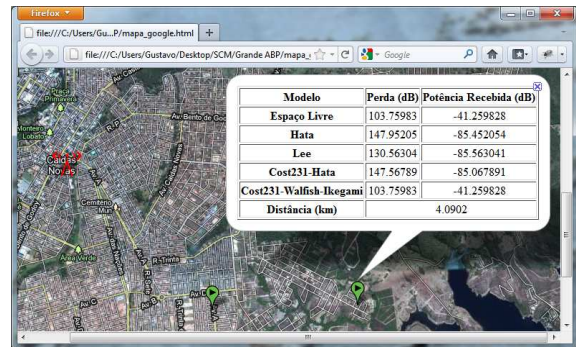
Figura 4 – Tela principal do *software* proposto por meio da metodologia PBL.

A Figura 5 mostra a utilização do *software* com a ERB (em vermelho) situada no centro da cidade de Caldas Novas (Goiás). Os valores das perdas (em dB) e das potências recebidas (em dBm) são apresentados na Figura 5(a) e 5(b) para duas posições diferentes do móvel (veja marcador na cor verde). Observe que os valores apresentados nas Tabelas 2 e 3 conferem com

os valores encontrados por meio do *software* educativo. Portanto, o *software* é confiável e escalável (ou seja, a ERB pode ser utilizada em qualquer ponto do planeta e novos modelos também podem ser implementados).



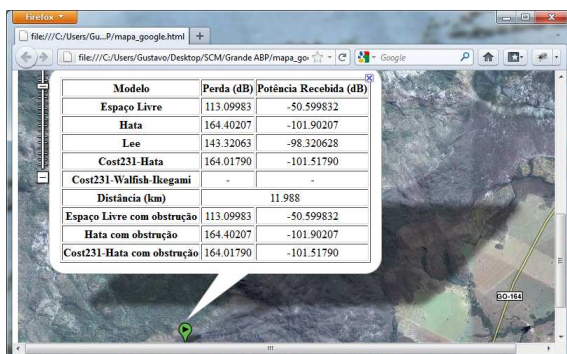
(a) Ponto 1.



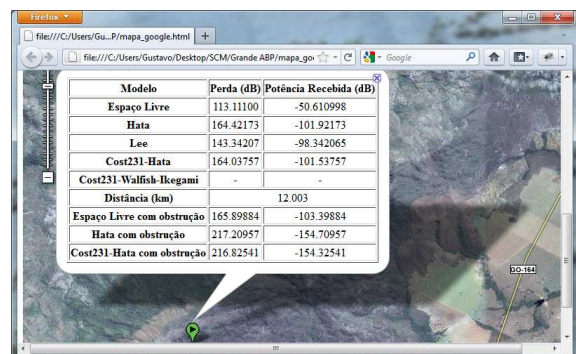
(b) Ponto 2.

Figura 5 – Utilização do *software* educativo com a ERB no centro de Caldas Novas.

A Figura 6 apresenta a utilização do *software* educativo para a localização da ERB numa posição pré-definida na cidade de Goiás. Como os mapas do *Google Maps* não possuem informações de altitude (barométricas), as obstruções foram identificadas com o uso do *software* SIGAnatel. Com a base de dados levantada e fixa para essa cidade, foi possível calcular a perda por obstrução quando houver em uma determinada posição do móvel. Os valores das perdas (em dB) e das potências recebidas (em dBm) são apresentados na Figura 6(a) e 6(b) para duas posições diferentes do móvel (uma quando não há obstrução e outra quando esta ocorre na região da Serra Dourada). Observe que os valores apresentados nas Tabelas 2 conferem com os valores encontrados para uma distância aproximada de 12 km. Neste caso, é interessante observar os cálculos realizados quando há perda por difração (modelo de espaço livre e modelo de HATA), apresentado pela Figura 6(b). Portanto, pode-se verificar que o *software* educativo consegue se adaptar enquanto a empresa Google não coloca as informações de cotas do terreno em seus mapas. Na elaboração deste artigo, as bases de dados das obstruções para duas novas cidades estavam sendo construídas e estarão em breve disponíveis no sítio do Grupo de Pesquisa INCOMM: <http://www.eeec.ufg.br/incomm/>. O trabalho de adaptação é árduo, mas vale a pena.



(a) Ponto 1 sem obstrução.



(b) Ponto 2 com obstrução.

Figura 6 – Utilização do *software* educativo com a ERB no centro de Goiás.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs um *software* educativo capaz de quantificar a potência recebida por uma estação móvel e a perda durante a propagação de um sinal de telefonia celular por meio de uma única ERB. Esse aplicativo, criado inicialmente para fins educacionais pode ser incrementado para a utilização real em termos operacionais. A metodologia de ensino PBL foi adotada como metodologia de ensino e os resultados mostram que o uso do *software* em outras

disciplinas, como a previsão do nível de intensidade do sinal da televisão digital, também pode ser explorado da mesma forma sendo perfeitamente adaptável e escalável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Sítio da Agência Nacional de Telecomunicações*. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br>. Data de acesso: 23 de jun. 2010.
- DEUS JÚNIOR, G. A. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, FEEC/UNICAMP. **Sistemas FFH-CDMA Codificados**, 2002. 188p, il. Tese (Doutorado).
- DEUS JÚNIOR, G. A. de; SILVA, B. A. R. Predição de cobertura celular na cidade de Anápolis utilizando os modelos de propagação Hata e espaço livre. **Anais: VII – Congresso Brasileiro de Pesquisa, Ensino e Extensão**. Goiânia: UFG, 2010.
- DEUS JÚNIOR, G. A. de. **Sítio do professor Getúlio Antero de Deus Júnior**. Disponível em: <http://www.eeec.ufg.br/docentes/getulio>. Acesso em: 09 jun. 2011.
- KALYANASUNDARAM, A.; PERUMAL, D. PROPAGATION MODEL FOR HIGHWAY IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEM. **Ubiquitous Computing And Communication Journal**, Suwon, South Korea, v.3, n.4, set. 2008.
- LEE, W. C. Y. **Mobile Cellular Telecommunications Systems**. New York: McGraw Hill International Editions, 1989.
- PORTAL INFO ONLINE. **Portal INFO Online: Rede CDMA da Vivo será desativada em setembro**. Disponível em: <http://info.abril.com.br/noticias/tecnologia-pessoal/rede-cdma-da-vivo-sera-desativada-em-setembro-24032011-8.shl>. Acesso em: 24 mar. 2011.
- RIBEIRO, L. R. de C. **A Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL): Uma Implementação na Educação em Engenharia na Voz dos Atores**. 2005. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- SAMPAIO, M. S. de. **Telefonia Celular Digital**. São Paulo: Editora Érica, 2007.
- YACOUB, M. D. **Foundations of Mobile Radio Engineering**. Flórida: CRC Press, 1993.

EDUCATIONAL SOFTWARE FOR MOBILE RADIO ENGINEERING IN THE ENGINEERING UNDERGRADUATE COURSES

Abstract: This work has as main purpose the presentation of an educational software that enables the prediction of cellular coverage through the use of topographic parameters to obtain relevant information during the transmission and reception of signals in mobile communication, which are predictions of loss values and the power received by the mobile antenna in a given area of land. These data are based on main mathematical models for the calculations of loss and received power, as follows: free-space path loss, Hata's formula, Walfish-Ikegami's formula, COST 231-Hata's formula and COST-231 Walfish-Ikegami's formula. With regard to mobile communications technology, the Brazil is going through a transition from the hegemony of market CDMA to GSM, whose numbers of mobile terminals grow as the Brazilian population. The proposed use of educational software for predicting the cellular coverage was implemented through Problem Based Learning (PBL) for mobile radio engineering in the engineering undergraduate courses.

Key-words: Mobile radio engineering, Educational software, Hata's formula, Free-space path loss, Walfish-Ikegami's formula.