

## Mapeamento do posicionamento geográfico de estações radio base do serviço móvel celular utilizando sensoriamento remoto

Alves Augusto Alves<sup>1</sup>  
Maria das Graças de Almeida<sup>2</sup>  
Magno Meirelles Ribeiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Engenharia e Arquitetura, FUMEC, 30310-190 Belo Horizonte, MG. –  
elmoalves@terra.com.br

<sup>2</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, MMC/DPPG, Av. Amazonas,  
7675, 30.510-000 Belo Horizonte, MG, Brasil  
graca@dppg.cefetmg.br, magno@dppg.cefetmg.br

**ABSTRACT** - In this paper, a methodology was developed to support technical planning of geographic positions of the Base Stations (BSs) for the Cellular Mobile Systems, using reprocessed images. The region of study was a neighborhood of Belo Horizonte City, in Minas Gerais State, Brazil. A Geographic Information System (GIS) was created in order to explore and to simulate the possibilities of the geopositioning of the BSs, to guarantee an efficient covering, with quality of the service of the radiofrequency systems. The project makes evaluation of power predicted levels of radiofrequency signals using the Okumura-Hata propagation model, in order to create an optimum algorithm and register of the geopositioning of the BSs. The environment of the study region was considered in order to map the electromagnetic waves propagation of the coverage of the cellular mobile service, in urban environment for the band of 800-900 MHz.

**Keywords:** *Radio Base Station, Mobile Cellular Mobile, Geographic information System (GIS), Coverture, Power, RF Signal.*

### 1. Introdução

O posicionamento de antenas no espaço geográfico tem sido utilizado de modo crescente na telefonia móvel celular e motivado discussões acerca das emissões de RF e da poluição visual devido ao posicionamento muitas vezes desordenado ou impróprio de algumas torres do serviço móvel celular. Por isto, as prestadoras de serviços são obrigadas a instalar e colocar em operação equipamentos capazes de ofertar à população um serviço com a qualidade por ela esperada, respeitando a lei geral das telecomunicações de nº 9472 (DOU, 1997). A ANATEL (ANATEL, 2005), visando limitar a emissão eletromagnética dessas antenas, obriga as empresas a adotarem os limites estabelecidos pela Resolução nº 303, DOU 2001.

A abordagem ambiental permite identificar quais antenas e torres seriam geradoras de quatro impactos negativos relevantes: emissão eletromagnética (radiação), poluição visual, segurança das construções e emissão de ruídos. Com o avanço das novas tecnologias Wireless, aparece um conjunto de problemas que demandam tentativa de solução e tem como base a localização das antenas de telecomunicações no espaço geográfico.

No estudo da tomada de decisões dos lugares de instalação das antenas do Serviço Móvel Celular é recomendável a adoção de um GIS (Geographic Information System). Contudo, as

instalações de antenas de telecomunicações, como foi dito, estão sujeitas a um conjunto de restrições estabelecidas pelas leis municipais. Em particular, para a região escolhida para estudo, a cidade de Belo Horizonte, tem-se a Lei Municipal 8.201 de 17 de Julho de 2001 (DOM-BH, 2001), que estabelece normas para instalação de antenas de telecomunicações, tendo em vista a necessidade de serem estabelecidos critérios e procedimentos administrativos para a instalação de antenas e de se estudar seu impacto ambiental, assim como de ser assegurado o interesse coletivo pela cobertura dos serviços de telecomunicações. E ainda visa assegurar à comunidade o efetivo respeito aos níveis de radiação não ionizante e emissão de ruídos provenientes do funcionamento das antenas.

Este artigo apresenta uma solução utilizando o modelo empírico de Hata-Okomura, para a predição de perda de potência na propagação de ondas e das restrições ambientais regidas pela lei municipal, tais como distanciamento mínimo entre torres e níveis de radiação, auxiliada com um Sistema de Informações Geográficas na tomada de decisões sobre a implantação das antenas no espaço geográfico, a se experimentar na região correspondente aos bairros Belvedere, Santa Lúcia e Estoril, região metropolitana de Belo Horizonte. Como resultado, foi obtido o mapeamento das ERBs geoposicionadas

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1 Sistemas Móveis celulares

A idéia básica do sistema móvel celular é a divisão da região a ser atendida pelo serviço em setores ou células. No centro de cada célula tem-se uma Estação Radio Base (ERB) que se comunica com as Estações Móveis (EM) que estejam dentro de seu alcance de propagação de irradiação. Estas estações constam de receptores e transmissores que podem operar simultaneamente em diversas frequências de modo a atender a diversas comunicações ao mesmo tempo. As ERBs são conectadas por meios convencionais físicos a uma Central de Controle e Comutação (CCC) que tem a finalidade de gerenciar as comunicações dos telefones móveis, monitorando suas posições e eventualmente fazendo a transferência de comunicação quando passam de uma célula para outra, processo esse denominado *Handoff Interceular* (Nascimento, 2000; Lee, 1982).

Em certas condições tais como situações de interferência, pode-se acontecer o *handoff* dentro da mesma célula, ou seja, mudança de canal de comunicação dentro da própria célula em que o equipamento móvel se encontra. Esse processo é conhecido como *Handover*. O tamanho das células da telefonia móvel situa-se na faixa de 500 metros a 10 quilômetros e permite, além dos processos de transferência citados, o *Roaming* (transferência automática de ligações entre sistemas) entre os diferentes provedores de serviço, desde que adotem o mesmo sistema.

A torre de uma ERB é usada para sustentar as antenas em alturas que possibilitem que suas irradiações escapem das obstruções, garantindo a cobertura do sinal nas direções desejadas. Além das antenas do sistema celular, as torres podem sustentar as unidades externas de rádio digital, caso sejam utilizadas. Vários são os tipos de torres de sustentação das antenas, para ambientes urbanos densos as pequenas torres sobre os tetos dos edifícios chamadas de *hooftops* (Kathrein, 2004).

Para efeito de projeto, representa-se a área de cobertura de cada ERB por um hexágono, por ser a figura que mais se aproxima da cobertura ideal. A forma real não segue um padrão geométrico regular, devido às particularidades da propagação do sinal que é influenciado pelas condições do relevo e obstáculos artificiais ou naturais encontrados. Na prática, até superposições de células são encontradas sendo, dessa forma, necessário um rígido controle

dos canais utilizados nestas ERBs, objetivando minimizar as possíveis interferências que poderão ocorrer (Lee, 1982).

Escolheu-se neste trabalho, para o Sistema de telefonia Móvel Celular, a faixa de frequências situada entre 800 MHz e 900 MHz (Faruque, 1996).

## 2.2 Modelo de Predição de Radio Frequencia de Hata-Okumura

Este modelo foi idealizado para a predição de perdas de propagação de sinais em áreas urbanas e desenvolvido com base em um grande número de medidas realizadas na região de Tóquio, em frequências na faixa de UHF e na faixa de SHF até 1.920 MHz. Este modelo não considera obstáculos entre transmissor e receptor. Possui uma considerável precisão quando proposto a analisar uma região de aproximadamente 15% de construções altas (Faruque, 1999; Hata, 1980). A fórmula de perda de potência do sinal de RF para este modelo é dado por:

$$L_p = C_1 + C_2 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55 \log(h_b)] \log(d) + C_0 \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

onde:  $L_p$  = perda do caminho [dB];  $f$  = frequência [MHz] (limitada entre 150 e 2.000 MHz);  $d$  = distância entre a antena transmissora da ERB e o aparelho móvel [km] (entre 1 e 20 km);  $h_b$  = altura efetivada antena na ERB [m] (entre 3 e 300m).

Para ambiente urbano:

$$a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7] h_m - [1,56 \log(f) - 0,8] \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Para ambiente urbano denso:

$$a(h_m) = 3,2[\log(11,75 h_m)]^2 - 4,97 \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

onde

$h_m$  = altura efetiva da antena móvel [m] (entre 1 e 10 m);

$C_1 = 69,55$  para  $150 \text{ MHz} \leq f \leq 1.000 \text{ MHz}$ ; e  $C_0 = 46,30$  para  $1.500 \text{ MHz} \leq f \leq 2.000 \text{ MHz}$ ;

$C_2 = 26,16$  para  $150 \text{ MHz} \leq f \leq 1.000 \text{ MHz}$ ; e  $C_0 = 33,90$  para  $1.500 \text{ MHz} \leq f \leq 2.000 \text{ MHz}$ ;

$C_0 = 0$  para urbano e  $C_0 = 3 \text{ dB}$  para urbano denso.

Podemos expressar a equação (1) da seguinte forma [10]:

$$L_p = L_0 + [44,9 - 6,55 \log(h_b)] \log(d) \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

Ou ainda:

$$L_p = L_0 + 10\gamma \log(d) \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

$$L_0 = C_1 + C_2 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

e a inclinação  $\gamma$  da perda na propagação do sinal, aproximadamente:

$$\gamma = \frac{44,9 - 6,55 \log(h_b)}{10} \quad (7)$$

Tem-se, então, que o modelo de Hata-Okumura exibe um caminho linear para a perda de propagação do sinal de rádio frequência em relação à distância. Como  $L_0$  é uma constante arbitrária, pode-se considerar que:

$$L_p \propto 10 \gamma \log(d) \quad (8)$$

E em escala linear:

$$L_p \propto \frac{1}{d^\gamma} \quad \text{para } \gamma = 3,5 \text{ a } 4,3 \quad (9)$$

## 2.3 Lei Municipal Para Instalações de ERBs

Além da análise das perdas na propagação dos sinais envolvidos na região estudada, devem ser também consideradas as restrições impostas pela Lei Municipal 8201 da cidade de

Belo Horizonte, aprovada em 17 de Julho de 2001. Essa lei estabelece parâmetros mínimos de distanciamento conforme listado em seu Art. 5º, a saber (DOM-BH,2001):

I – 500 (quinhentos) metros a partir do eixo da base de uma torre ou poste para outra, visando a proteção da paisagem urbana;

II – 30 (trinta) metros a partir do ponto de emissão de radiação, na direção de maior ganho da antena, de qualquer ponto de edificação existente nos imóveis vizinhos que se destinem à permanência de pessoas, salvo nos casos de utilização de microcélulas;

III – 6 (seis) metros do alinhamento frontal e das divisas laterais e de fundos, a partir do eixo da base da torre ou poste em relação à divisa do imóvel ocupado;

IV – 3 (três) metros de qualquer elemento da Estação de Rádio base ou estação de transmissão, incluindo torre e antenas, em relação às divisas laterais e de fundo, respeitando o respectivo afastamento ao alinhamento frontal.

## **2.4 Geoprocessamento**

O Geoprocessamento é um conjunto de técnicas e metodologias de armazenamento, processamento, automação e utilização de imagens para tomada de decisões (Barbosa, 1997). A representação da superfície topográfica de forma adequada permite a obtenção de diversas informações, tais como: a distância vertical entre pontos, a inclinação de taludes, a construção de perfis, intervisibilidade entre pontos, elementos para o cálculo de áreas e volumes, entre outras.

Para solucionar todos esses problemas uma técnica de modelagem digital foi criada: o MNT – Modelo Numérico de Terreno (em inglês, DTM - Digital Terrain Model), também conhecido como Modelo Digital de Elevação (DEM - Digital Elevation Model) que é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. Ou seja, é uma codificação digital do modelado topográfico em uma malha de pontos com três parâmetros:  $x$ ,  $y$  e  $z$  sendo  $x$  e  $y$  valores de um sistema de coordenadas e  $z$  a altitude do ponto (Barbosa, 1997).

## **3 POSICIONAMENTO GEOGRÁFICO DAS ERBs E SUAS POTÊNCIAS**

Neste trabalho foram utilizadas as imagens oferecidas pelo IBGE, em escala padronizada (1:25.000) e oferece os arquivos em seu site (IBGE, 2004), que são um conjunto de cartas topográficas, georreferenciadas e vetorizadas. Os arquivos das cartas topográficas digitalizadas são nomeados de acordo com as categorias de mapeamento, conforme a seguir [Alves, 2005; IBGE, 2004]: Hidrografia, Hipsografia, Limite, Localidade, Obra e Edificação 1, Obra e Edificação 2, Obra e Edificação 3, Ponto de Referência, Sistema de Transporte, Vegetação.

As informações básicas para se conseguir os dados referentes a altitude, longitude e altimetria que foram feitas por levantamento por aerofotogrametria, que gerou, por hipsometria, as curvas de nível de 20 em 20 m e os pontos cotados numa escala de 1:25.000.

Para o processamento das imagens utilizou-se o software MAPINFO e para a elaboração dos programas dedicados a implementar o modelo de perda de propagação de sinal de Hata-Okumura utilizou-se o softwares MATLAB.

### **3.1 Digitalização do Relevo da Área de Estudo**

A capital do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, foi escolhida para ser a base topográfica deste projeto. A cidade está situada no centro-sul do estado, possuindo extensão

territorial de 335 km<sup>2</sup>, delimitada pelas latitudes 19° 46' 35" S e 20° 03' 34" S e pelas longitudes 43° 51' 27" W e 44° 03' 47" W. A sede municipal localiza-se a 852,19 m de altitude, podendo atingir 1.500 m no topo da Serra do Curral. A capital possui uma fisiologia diversificada e um relevo bastante acidentado com expressão máxima na serra do Curral (IBGE, 2004).

A região correspondente aos bairros Belvedere, Santa Lúcia e Estoril foi escolhida para estudo de caso do modelo proposto de perda de propagação do sinal de RF, por ser uma área de população densa e de fácil reconhecimento visual. O programa ArcExplorer possibilita a escolha dessa região, assim como a visualização, permitindo, inclusive, a sobreposição das categorias de mapeamento obtidas. Na figura 2, mostra as imagens sobrepostas referentes ao levantamento hipsométrico, hidrográfico e arruamento da região correspondente aos bairros Belvedere, Santa Lúcia e Estoril (BH/MG).

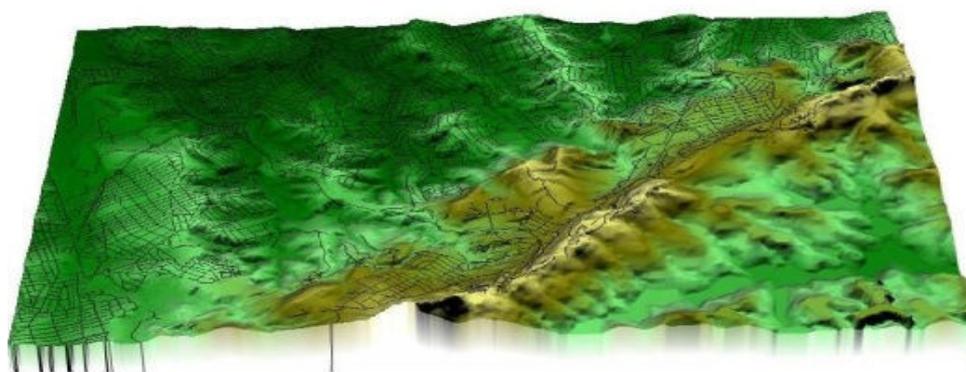


Figura 2 – Sobreposição do arruamento sobre a imagem 3D obtida, rotacionada, da região de estudo correspondente aos bairros Belvedere, Santa Lúcia e Estoril (BH/MG).

### 3.2 MAPEAMENTO DA COBERTURA

A imagem cobrindo a região de estudo, sobretudo, o bairro Belvedere é uma matriz que possui 200 colunas (latitude) e 166 linhas (longitude), possuindo seus pontos extremos da diagonal secundária, as coordenadas:  $x_1 = 43^{\circ} 57' 08''$  W,  $y_1 = 19^{\circ} 57' 36''$  S,  $x_2 = 43^{\circ} 55' 25''$  W,  $y_2 = 19^{\circ} 59' 21''$  S.

A altitude máxima verificada no mapa reduzido é de 1320 m e a mínima de 929,99 m. As imagens da Figura 3 excluem a morfologia, e o modelo de Okumura-Hata se faz viável para a predição da perda do sinal de RF em cada ERB.

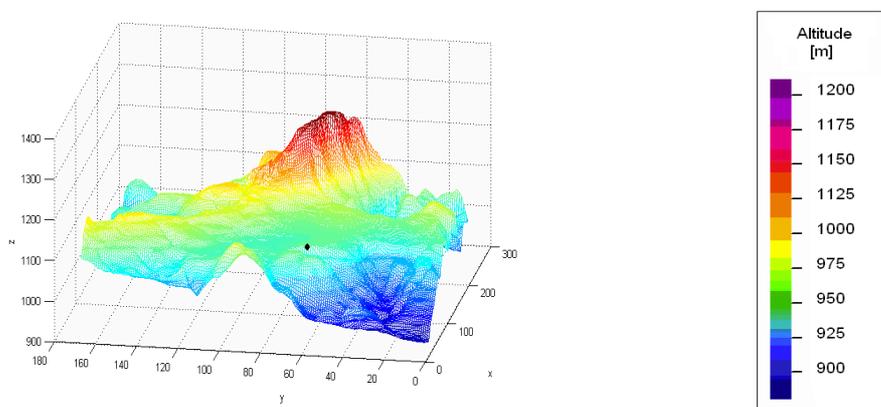


Figura 3 – Superfície representativa do relevo, com a inclusão de ERB real, pelo MATLAB.

Com o objetivo de fazer todas as considerações possíveis, analisando uma região de terreno irregular e urbana, foram consideradas algumas aproximações para que se possam calcular as perdas na propagação dos sinais por meio do algoritmo desenvolvido para o modelo de Okumura-Hata. A altura efetiva da antena na ERBs foi considerada de 30 m somada à altitude da base da torre em relação a altitude efetiva da antena móvel (1,5 m), ou seja, considerou-se que o equipamento móvel está sobre uma altitude referencial zero.

Um programa e sub-rotinas foram desenvolvidos para a avaliação da predição da perda na propagação do sinal de RF com uma ERB posicionada em um ponto específico (Alves, 2004). Foi considerado o ponto correspondente a uma ERB real, instalada no bairro Belvedere, sobre as coordenadas  $19^{\circ} 57' 44''$  S e  $43^{\circ} 56' 02''$  W, e através do MATLAB, que forneceu a imagem representativa da região, assim como o posicionamento da ERB escolhida, conforme mostra a figura 3. A Figura 4 mostra o aumento da perda do sinal, considerando a perda da ERB.

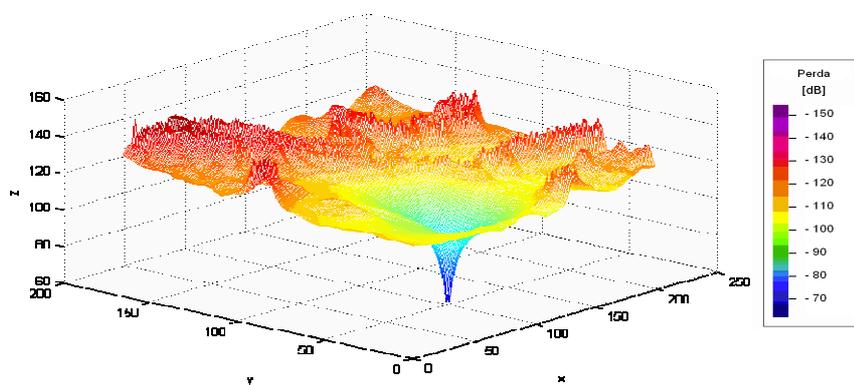


Figura 4— Gráfico correspondente a aumento da perda (em dB) em relação à distância da ERB.

A figura 5 ilustra a região de cobertura pela ERB escolhida, obtida a partir dos dados que geraram a figura 4. A região em destaque corresponde aos pontos em que a perda calculada é inferior ao limiar estabelecido pelo programa de **cobertura**. Este o limiar é calculado a partir da diferença entre a potência estipulada e o limiar de recepção do equipamento móvel (-105 dBm).

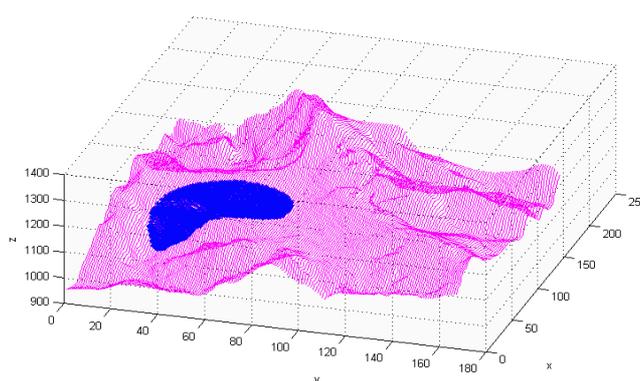


Figura 5 - Região de cobertura pela ERB.

O programa de cobertura da ERB posiciona as demais ERBs dentro da área delimitada pela matriz de altitudes. Para tanto o ponto escolhido representará a primeira ERB. O programa calcula o raio médio de cobertura desta primeira célula e o utiliza como parâmetro para o cálculo das seguintes (Alves, 2005). O resultado do algoritmo de posicionamento, juntamente com as regiões de cobertura de cada ERB, pode ser visualizado na Figura 6. A Figura 6 nos mostra além das ERBs sugeridas, as pertencentes pelas operadoras Telemig Celular (Operadora A) e TIM (Operadora B). Uma ERB da Telemig Celular foi escolhida

como ponto inicial para o teste e aparece sobreposta à primeira ERB sugerida na parte central e superior da figura.

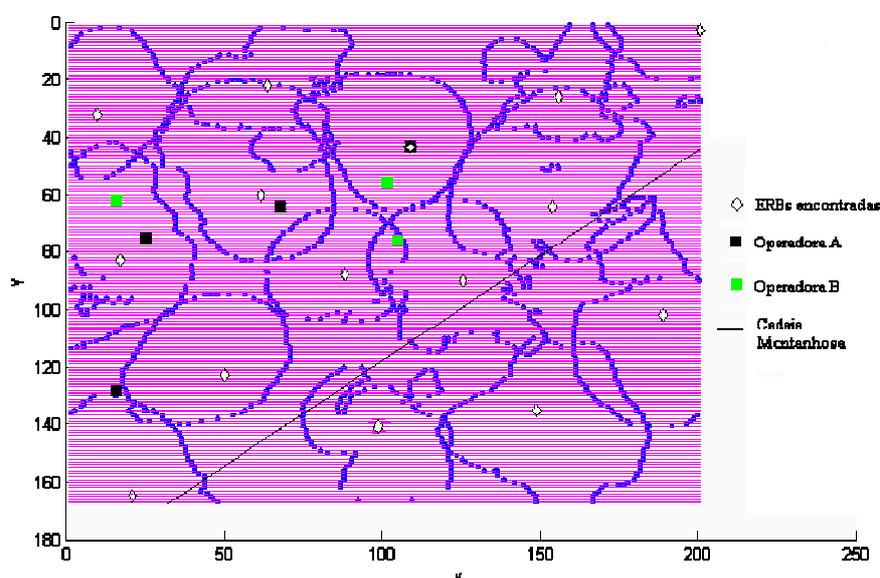


Figura 6 – Mapeamento das ERBs posicionadas e suas respectivas regiões de cobertura e ERBs existentes em BH das operadoras Telemig Celular (A) e TIM (B).

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O programa de cobertura das ERBs (Alves, 2005) informa as coordenadas geográficas de cada ERB posicionada, resultado gerado pelo processamento dos dados referentes à predição da perda do sinal de RF, assim como a varredura da área de interesse e conseqüente posicionamento das ERBs. A questão da distância mínima estipulada pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, conforme a Lei Municipal 8201, é verificada pelo programa **dist.m**. Este calcula todas as distâncias existentes entre as ERBs posicionadas, exibindo as distâncias inferiores a 500 m. O programa não acusou nenhuma distância inferior à regulamentada. Observa-se uma coerência entre o posicionamento das ERBs sugeridas e as da operadora em questão. Deve-se levar em consideração que a disposição real das ERBs em funcionamento dificilmente correspondem ao posicionamento ideal. Isto acontece devido a inúmeros fatores, tais como disponibilidade do terreno para locação ou outros impedimentos físicos ou jurídicos

## 6 CONCLUSÃO

O método proposto conseguiu comprovar a eficácia do uso de imagens geoprocessadas na tomada de decisões no que se refere ao posicionamento de antenas do Serviço Móvel Celular em ambiente urbano e conseguiu uma interoperabilidade entre Sistemas de Informações Geográficas.

O objetivo deste trabalho é contribuir para o aprimoramento do serviço de planejamento existente hoje, visto que baseou-se em modelos clássicos de predição de perda na propagação de sinais de RF. A aproximação encontrada se mostrou dentro de margens toleráveis para o uso de ferramentas de planejamento baseadas em GIS, oferecendo vantagens como simplicidade e economia de tempo de processamento dos dados.

Mesmo diante das limitações do modelo de predição escolhido, a cobertura e número de estações posicionadas se mostraram coerentes à realidade de um sistema já em

funcionamento. O método desenvolvido permite ainda, de forma bem prática, o registro de sugestão dos pontos geográficos para o estudo da implantação dessas estações.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. A., *Posicionamento Geográfico de Estações de Rádio Base do Serviço Móvel Celular por Meio de Imagens Geoprocessadas: Projeto e Estudo de Caso da Região Urbana de Belo Horizonte, MG*, Dissertação de Mestrado, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, 2005.

ANATEL, Disponível em <<http://www.anatel.gov.br>>. Acesso em 02 de Janeiro de 2005.

BARBOSA, C. C. F. *Álgebra de Mapas e suas Aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento*. Tese de Mestrado. São José dos Campos. INPE. 1997.

FARUQUE, SALEH, *Cellular Mobile Systems Engineering*, 1ª Ed., Artech House, Inc., London, 1996.

FREITAS, ANTÔNIO E., *Predição de Cobertura de Enlaces Radioelétricos Sobre Terrenos Irregulares Através de Equações Integrais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

HATA, O. , “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. VT-29, no. 3, August 1980.

IBGE, Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 24 de Dezembro de 2004.

IBGE - *CARTAS TOPOGRÁFICAS*, Disponível em

<<http://www.ibge.gov.br/download/arquivos/Basecart050/index50.shtm>>. Acesso em 24 de Novembro de 2004.

KATHREIN, ANTENNEN - *Electronic, 790 – 2500 MHz Base Station Antennas for Mobile Communications – Catalog inssue*, Rosenheim . Germany, Feb, 2004.

NASCIMENTO, JUAREZ DO. *Telecomunicações*, 2ª Edição, São Paulo, Makron Books, 2000.

PEREIRA, P. T., *Predição de Sinais de Rádiofreqüência Utilizando Lógica Fuzzy*, Dissertação de Mestrado – Belo Horizonte: CEFET-MG, 2000.

PODER EXECUTIVO, *Lei Municipal 8.201, de 17 de julho de 2001*, Diário Oficial do Município de Belo Horizonte, 2001.

*PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE*, Disponível em <<http://www.pbh.gov.br>>. Acesso em 12 de Novembro de 2004.

RAPPORT, T. S., *Wireless Communications – Principe &Practice*, Prentice Hall - Communications Engineering and Emerging Technologies Séries, 1996.

SENADO FEDERAL, *Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997*, Diário Oficial da União, 1997.

SENADO FEDERAL, *Resolução N° 303, de e de julho de 2002, Regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de freqüências entre 9 kHz e 300 GHz*, Diário Oficial da União, 2001.

SILVA, G. V. F. & BARRADAS, ° C. M., *Sistema de rádio Visibilidade*, Livros Técnicos e Científicos Ed. S/A, 1978.

W.C. -Y. LEE, *Mobile Communications Engineering*, McGraw Hill, New York, 1982.o