



Revista Brasileira de Cartografia (2014) N<sup>o</sup> 66/5: 1075-1095  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **PROPOSTA DE LEVANTAMENTO DE POTENCIAIS LOCALIZAÇÕES DE ANTENAS REPETIDORAS DE SINAL DE TV-DIGITAL COM O USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

*Proposal for Detection of Feasible Locations to Place Repeaters Antennas of Digital-TV Signal with the Use of Geoprocessing Techniques*

**Jussara Costa de Oliveira & Edilson Bias**

**Universidade de Brasília – UnB**  
**Programa de Pós Graduação em Geoprocessamento Ambiental – Instituto de Geociências**  
CEP: 70910-900 – Brasília-DF  
djussa@gmail.com; edbias@unb.br

*Recebido em 29 de Janeiro, 2014/ Aceito em 15 de Março, 2014*  
*Received on January 29, 2014/ Accepted on March 15, 2014*

### **RESUMO**

O propósito deste estudo é aplicar técnicas de geoprocessamento com o objetivo de avaliar a propagação do sinal de TV-digital UHF considerando as condições topográficas dentro da região de serviço da estação emissora, de acordo com a Norma Técnica para Execução dos Serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens e de Retransmissão de Televisão com utilização da tecnologia digital, do Ministério das Comunicações (baseada na Rec. ITU-R P.1546-2), a fim de detectar obstruções e regiões de sombra que demandem o uso de estações retransmissoras. Para a modelagem foi utilizado um Modelo Digital de Elevação, gerado a partir das curvas de nível da base cartográfica do DF, escala 1:10.000, proveniente da cobertura aérea realizada pela TERRACAP-DF (2010). O MDE foi utilizado para projetar os enlaces de antenas em 12 direções igualmente espaçadas. O perfil topográfico de cada percurso foi analisado para a identificação de locais sem visibilidade ao sinal direto (linha de visada), a altitude dos obstáculos e a que distância se encontram da antena transmissora. O percentual de desobstrução da primeira zona de Fresnel e a perda de sinal associada foram estimados a fim de avaliar a necessidade da implementação de antenas repetidoras e propostos locais potenciais para instalação de acordo com as condições topográficas da região de interesse.

**Palavras chaves:** Modelo Digital de Elevação, Zonas de Fresnel, TV-digital, Radiocomunicação.

### **ABSTRACT**

The purpose of this study is to apply geoprocessing techniques by means to evaluate the propagation of UHF digital-TV signal considering the topographic conditions in the service area of a transmitter station, according to the Technical Norm for Execution of Broadcast Sound and Image Transmission with the use of digital technology, from Communications Ministry of Brazil (based on Rec. ITU-R P.1546-2), in order to detect obstructions and shadow zones which demand repeaters. For the modeling we used a Digital Elevation Model generated from contour lines of the cartographic base of DF at scale 1:10.000, result of the aerial coverage realized by TERRACAP-DF (2010). This DEM was used to project antennas links in 12 directions equally spaced. The topographic profile of each path was analyzed to identify the places where there is no visibility to the direct signal (line of sight), the height of the obstacles and their distances to the transmitter antenna. The clearance percentage of the first Fresnel Zone and the associated path loss were estimated

by means to evaluate the necessity of implementing repeaters antennas and there were proposed the potential install locations due to topographic conditions of the regions of interest.

**Keywords:** Digital Elevation Model, Fresnel Zones, Digital-TV, Radiocommunication.

## 1. INTRODUÇÃO

Para o projeto de sistemas de radio-enlace, é de fundamental importância o levantamento do relevo da região de interesse, que pode obstruir total ou parcialmente as ondas eletromagnéticas (SILVA, 1978). Isto é possível com o uso de Modelos de Elevação Digital e modelos de previsão de propagação do sinal adequados (Okumura-Hata, COST-231, Ikegami, Durkin), que devem ser escolhidos de acordo com as características do meio de propagação (ambientes rurais ou urbanos, terrestres ou marítimos), da frequência do sinal, da distância do enlace e das obstruções presentes no percurso. As áreas de sombra dentro da área de cobertura devem ser analisadas a fim de definir o possível posicionamento de antenas repetidoras (SANCHES,2005).

Na indústria de telecomunicações, são operações primárias a identificação e planejamento do site, a medição da potência do sinal e a previsão da área de cobertura e expansão do sistema. Um dos principais fatores que afetam a propagação do sinal é a geomorfologia da região. Logo, as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica são componentes de grande valor para o planejamento de redes sem fio (NAVEENCHANDRA et al., 2011).

Segundo Sanches (2005), o primeiro passo para a definição de um enlace é a visibilidade entre a emissora e a receptora. Para tanto, é necessário traçar a linha de visada entre as duas antenas, considerando-se a altura das torres. Obstruções que toquem ou ultrapassem a linha de visada geram grande perda no sinal, gerando áreas com pouca ou nenhuma cobertura, denominadas regiões de sombra. Contudo, nem sempre o ponto de obstrução é o melhor local para a implantação de uma retransmissora, portanto, deve-se observar o perfil topográfico a fim de se avaliar o posicionamento mais adequado que atenda as áreas não cobertas, por meio do redirecionamento do sinal.

É importante dimensionar o raio da primeira zona de Fresnel (espaço geométrico

em forma de elipse) que concentra metade da energia transmitida por um sinal em espaço livre (SANCHES,2005). O ideal é que esta região apresente pelo menos 60% de desobstrução para que a propagação assemelhe-se à do espaço livre. Por isso, é fundamental conhecer os valores altimétricos, a distância da emissora e as obstruções, para estimar a perda associada e verificar a viabilidade do enlace (SILVA,1978).

As demais zonas de Fresnel não são consideradas para este cálculo, pois as contribuições das zonas de maior ordem tornam-se cada vez menores, e as zonas adjacentes tendem a se cancelar no receptor, por terem defasagens opostas, de modo que, com o somatório de todas elas, a partir da primeira, o campo oscila progressivamente, aproximando-se de um valor final de menor amplitude. O resultado final dessas contribuições corresponde à metade da energia contida apenas na primeira zona de Fresnel (SILVA, 1978).

## 2. OBJETIVOS

Neste item, serão apresentados os objetivos que nortearam a presente pesquisa, fundamentando apoio ao desenvolvimento metodológico e aos resultados esperados.

### 2.1 Objetivos Gerais

O presente estudo visa propor potenciais localizações para torres repetidoras de sinal de TV-digital nos limites do Distrito Federal, com o uso de técnicas de geoprocessamento.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Modelar a identificação de pontos de obstrução a partir de um Modelo Digital de Elevação.

b) Analisar as zonas de propagação com a delimitação de uma área com cobertura mínima.

c) Avaliar os pontos de obstrução e áreas de sombra, a fim de propor potenciais localizações para antenas retransmissoras.

## 3. ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Martins et al. (2004), o

Distrito Federal localiza-se no Planalto Central do Brasil (Fig. 1) com uma área total de 5.814 km<sup>2</sup>, enquadrando-se geologicamente no setor oriental da Província Estrutural do Tocantins, mais especificamente, na porção centro sul da Faixa de Dobramento Brasília, com solos que representam as principais classes do Bioma Cerrado (latossolos 54,4% e Cambissolos 31,02%). A CODEPLAN (1984) apresenta a compartimentação do relevo do Distrito Federal em dois Pediplanos e nas Depressões Interplanálticas. O Pediplano da Contagem-Rodeador com cotas mais elevadas (1200m a 1400m) e o Pediplano Brasília (950m a 1200m). As Depressões Interplanálticas e o Plano Dissecado do Alto Maranhão abrangem áreas menores e mais baixas (800m a 950m).

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Câmara e Davis (2001), o termo *Geoprocessamento* refere-se à área do conhecimento que realiza o tratamento da informação geográfica por meio de técnicas matemáticas e ferramentas computacionais que compõem um Sistema de Informação Geográfica (SIG), capaz de integrar dados de fontes distintas e gerar um banco de dados georreferenciados, o que possibilita análises complexas e serve de apoio para tomada de decisão.

Por meio de um SIG é possível inserir na mesma base de dados informações espaciais diferenciadas, tais como dados cartográficos, imagens de satélite, modelos numéricos de terreno (como curvas de nível, por exemplo), bem como, dados discretos espacializados (informações sobre população, cadastramento rural, etc.), integrando-os, mas também, oferecendo recursos para cruzar esses dados, viabilizando consulta,



Fig. 1 – Localização do Distrito Federal.

análise, manipulação por meio de algoritmos e a visualização desses dados georreferenciados plotados (CÂMARA et al., 2004).

Como o SIG tem aplicações variadas, cabe ao especialista da área traduzir os conceitos de seu campo de estudo em representações computacionais (CÂMARA et al., 2004). Em telecomunicações, o planejamento de redes sem fio depende do dimensionamento do enlace entre transmissor e receptor, considerando-se o posicionamento das antenas e o meio de propagação do sinal. Em ambientes abertos, devem ser levantados dados relativos ao relevo (cotas altimétricas) e utilizadas ferramentas de visualização que demandam o uso de um SIG (WAGEN; RIZK, 2003).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é amplamente adotado no planejamento de radioenlaces em telecomunicações (SILVA et al. 2009)

*Softwares* de planejamento de redes sem fio utilizam os dados de SIG associados a modelos de predição de rádio-propagação para auxiliarem os projetistas na tomada de decisão quanto ao planejamento da rede, balanceando os requerimentos de cobertura e qualidade do sinal em relação à viabilidade econômica da implantação do sistema. Os modelos de propagação de sinal estão fortemente correlacionados com a interação física das ondas de rádio e o meio em que elas se propagam (WAGEN; RIZK, 2003).

Tais programas se valem de bases de informações geográficas a fim de estimar a área de cobertura e calcular a perda média ou mediana na propagação do sinal, por meio de métodos de predição adequados à frequência adotada e ao meio físico. Essa metodologia que associa métodos de predição a base de dados geográficos é designada como uma abordagem *site-specific* (RAPPAPORT, 2001).

Silva e Dias (2009), em um estudo de algoritmo para predição de cobertura em sistemas VHF e UHF, apontam que modelos teóricos, baseados no traçado de raios de enlaces ponto-a-ponto, possuem maior capacidade de detalhamento do nível médio do sinal ao longo do percurso na área de interesse, com uma predição específica para cada trajetória de propagação.

No entanto, para a modelagem ponto-área, demandam um esforço computacional

elevado. Outras técnicas consideram apenas a predição ponto-área, que são modelos semi-empíricos (modelos que generalizam observações empíricas por meio de equações), com base na perda média do sinal em uma dada frequência com o distanciamento da emissora, de acordo com o ambiente. Softwares comerciais adotam uma abordagem intermediária, balanceando o uso desses modelos de predição ponto-área com ajustes ponto-a-ponto, relacionados a aspectos do relevo associados a uma base de informações geográficas (SILVA; DIAS, 2009).

Assim, toda a modelagem de enlaces sem fio é dependente de uma análise baseada em SIG, e requer como requisito o uso de Modelos Digitais de Elevação.

#### 4.1 O Plano Brasileiro de TV Digital

A digitalização dos meios de comunicação é uma tendência global. A implantação do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre – SBTVD-T - disposto pelo decreto nº 5.820 de 29 de Junho de 2006, visa a progressiva substituição do sistema analógico de TV pelo digital.

O cronograma de implantação previa em um primeiro momento a instalação das estações geradoras e posterior implantação de serviços de retransmissão, com prazo de 10 anos a partir da publicação do decreto, o que aconteceria em 2016. O Ministério das Comunicações prorrogou o prazo para 2018, com nova redação dada pelo Decreto nº 8.061 (BRASIL, 2013).

Ocorre que a frequência de 700Mhz utilizada pelo sistema de TV analógica é bastante visada pelas operadoras de celular, pois é nesta faixa que o sistema 4G obtém sua maior área de cobertura. Em 700MHz a qualidade do sinal é mantida em um raio de até 5Km a partir da antena, enquanto que em 2GHz, esse raio decai para 2Km. Dadas essas características, a faixa de 2,5GHz será mais utilizada nos grandes centros urbanos e a de 700MHz será direcionada para as áreas rurais (ROJAS, 2013). Quando expirar o prazo estipulado pelo governo para a implantação do SBTVD-T, o sistema 4G assumirá a frequência de 700MHz e as emissoras de TV analógica correm o risco de um apagão.

#### 4.2. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Em março de 2010 o Ministério das

Comunicações (MC) aprovou por meio da portaria nº 276 a Norma nº 01/2010 - Norma Técnica para Execução dos Serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens e de Retransmissão de Televisão com utilização da tecnologia digital, que estabelece critérios de instalação, licenciamento e operação das estações, e visa assegurar a qualidade do sinal emitido dentro da área de prestação do serviço, servindo como apoio à análise do projeto de instalação da estação de transmissão digital. A Norma estabelece ainda os seguintes conceitos que são de relevância no presente estudo:

*Área de outorga* - área geográfica do município que foi objeto de outorga da autorização ou concessão para operação de serviços de radiodifusão.

*Área de Sombra* - é a área do município pertencente à áreas de outorga que, apesar de contida no interior do contorno de serviço, apresenta, devido às peculiaridades de relevo do terreno, um valor de intensidade de campo insuficiente para o processamento do sinal recebido.

*Contorno de Serviço* - é o lugar geométrico dos pontos onde o valor de intensidade de campo assegura a recepção do sinal digital por uma antena externa, dimensionado a partir das características técnicas de instalação da estação.

$E(L, T)$  - É o valor do campo elétrico estimado para uma antena receptora a 10m de altura em relação ao terreno, excedida em L% dos locais em pelo menos T% do tempo.

*Estação Transmissora de Televisão* - é o nome dado ao conjunto de equipamentos, componentes e instalações acessórias, destinados à geração, processamento, transmissão ou retransmissão de sinais modulados de radiodifusão (sons e imagens).

*Estação Retransmissora* - é o conjunto de equipamentos transmissores e receptores, além de dispositivos, incluindo as instalações acessórias, capaz de captar sinais de sons e imagens e retransmiti-los para recepção, pelo público em geral, em locais não atingidos diretamente pelos sinais da estação de televisão ou atingidos em condições técnicas inadequadas.

*HNMT* - altura do centro de irradiação da antena transmissora em relação ao nível médio do terreno. É a altura de referência adotada para fins de cálculo. A Norma do MC adota como padrão o valor de 150m.

*Nível Médio de uma radial* – o nível médio de uma radial é a média aritmética das altitudes do terreno com relação ao nível do mar, tomadas no trecho compreendido entre 3 e 15 km, a partir do local da antena.

### **4.3. International telecommuni-cation Union (ITU)**

A ITU é uma agência especializada das Nações Unidas para tecnologias da informação e da comunicação. A organização conta com 193 países-membros e parcerias com mais de 700 instituições acadêmicas e entidade do setor privado. Ela define desde padrões técnicos para a interconexão de redes e tecnologias até a alocação do espectro e das órbitas de satélites, em escala global. O Brasil é membro da ITU e segue suas recomendações para padronização dos sistemas de comunicação.

Especificamente para o serviço de radiocomunicação existe o setor ITU Radiocommunication (ITU-R), com a finalidade de gerenciar desde as órbitas dos satélites até o espectro de radiofrequências utilizado globalmente de forma econômica, eficiente e racional, uma vez que é um recurso natural limitado e que vem sofrendo uma demanda cada vez maior em serviços tais como redes móveis, telefonia celular, radioamador, radiodifusão, meteorologia, pesquisa espacial, sistema de posicionamento por satélite, meteorologia, monitoramento ambiental, telecomunicações de emergência e serviços de comunicações terrestres, aéreos e marítimos, de modo a garantir a segurança nessas comunicações.

A padronização da ITU-R estabelece “Recomendações” com o intuito de assegurar a qualidade necessária à operação do sistema de radiocomunicação, bem como gerenciar o uso do espectro de radiofrequência globalmente. A Recomendação ITU-R P.1546 fornece uma orientação de planejamento de serviços de radiocomunicação VHF e UHF (ITU-2005).

A Rec. ITU-R P.1546 propõe o método de predição de propagação ponto-área que será utilizado nos sistemas terrestres operando na faixa de frequências de 30 MHz a 3000 MHz e para um alcance de 1 km a 1000 km. Este modelo, baseado no método Okumura-Hata, apresenta uma série de curvas, chamadas de curvas de propagação (Figura.2), que

representam a intensidade do campo para uma antena transmissora com potência efetiva irradiada (ERP) de 1kW em função da distância à receptora. Algumas curvas referem-se a percursos terrestres, outros a percursos marítimos. As curvas de propagação são estimadas para um emissor com altura  $H_1$  do centro irradiante em relação ao solo (correspondente à altura HMNT), ou seja, a altura da antena na torre onde foi instalada, variando entre 10m e 1200m de altura. Para fins desta análise, considerou-se o centro irradiante a 150m de altura, transmitindo a 600 MHz (dentro da faixa UHF), conforme estabelecido no critério para licenciamento dos canais de TV Digital na Norma nº 01/2010 do Ministério das Comunicações.

As curvas de propagação descritas na ITU-R P1546 representam os valores de intensidade do campo  $E(L,T)$  para 50% das localidades, em qualquer área tipicamente espaçada em 500m em 500m e em 50%, 10% e 1% do tempo. Cada curva representa uma determinada altura para a antena transmissora ( $h_1$ ), com valores de: 10, 20, 37.5, 75, 150, 300, 600 e 1200m. Adota-se nestas estimativas a altura da antena receptora ( $h_2$ ) em relação ao nível do solo com o valor de 10m.

### **4.4. Sistema Irradiante e Canalização**

Com base em tais especificações, o Ministério das Comunicações definiu na Norma nº 01/2010 a canalização para a transmissão do sinal de TV-digital em Ultra High Frequency (UHF), com a designação dos canais 14 a 68, com largura de faixa de 6MHz, ocupando o espectro entre 470 e 800MHz (tabela 1).

As estações foram então enquadradas em classes, em função de suas características de potência efetiva irradiada (ERP) e as distâncias máximas ao contorno protegido para uma transmissora com altura de referência em relação ao nível médio do terreno (HMNT) de 150m, conforme tabela 2.

A classe da estação digital é definida pela radial de maior potência efetiva irradiada por uma antena transmissora alimentada por 1kW de potência efetiva, para emissora e receptora separadas por distâncias de 1 a 1000km (conforme ITU-R P.1546).

Para o Distrito Federal, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) estipulou 34

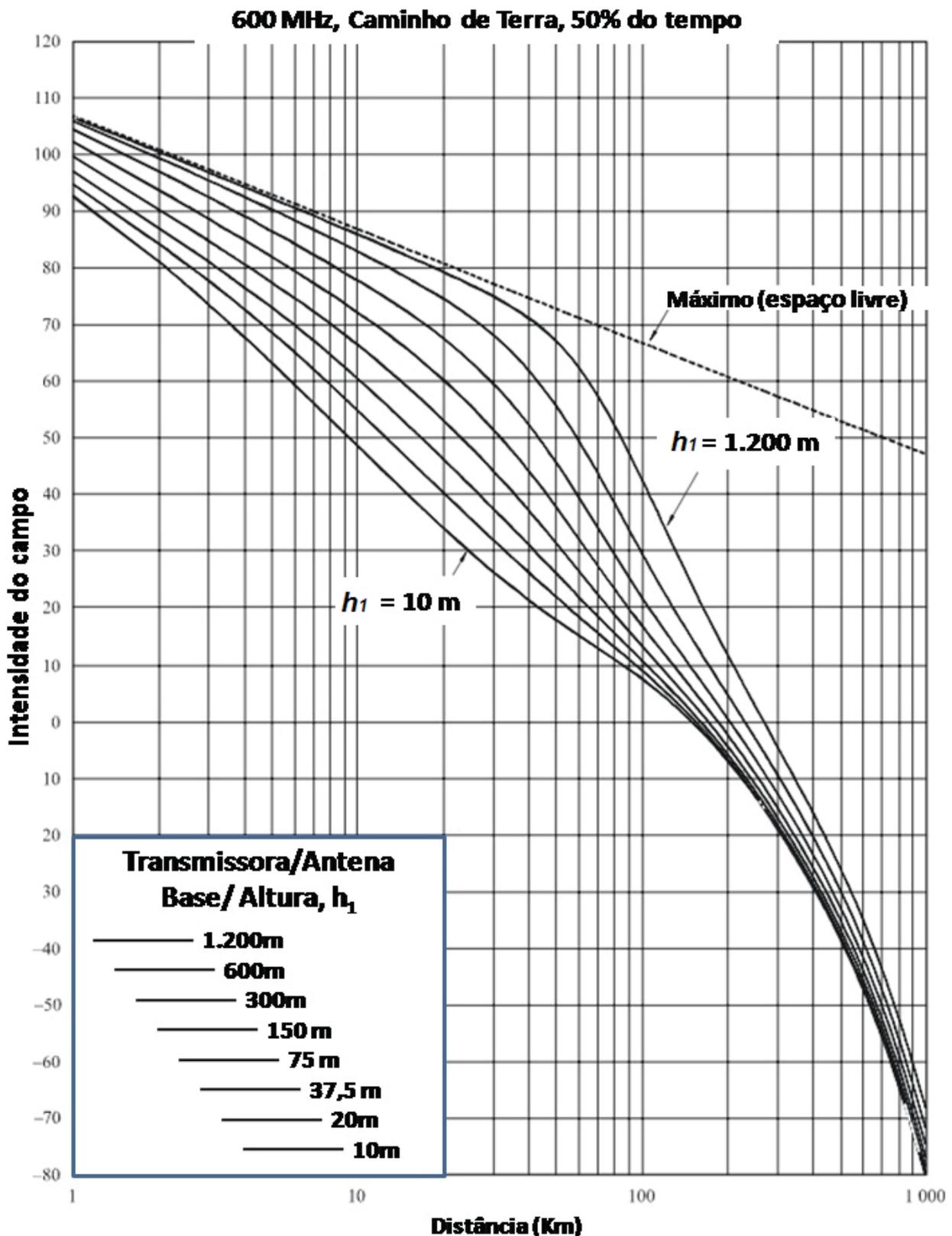


Fig.2 – Curvas de propagação do Modelo Okumura- Hata para frequência de 600MHz em percursos terrestres com 1kW de potência irradiada.

canais designados para geração ou repetição do sinal de TV-digital em Ultra High Frequency (UHF), com frequências de 481,75 a 745,75MHz (até a última consulta realizada, em Setembro de 2013). Destes, apenas dois foram designados

para operar acima de 700MHz, o canal 52 do Supremo Tribunal Federal e o canal 61, da Câmara dos Deputados.

#### 4.5 Levantamento do nível médio do terreno

Tabela 1: Canalização de TV-digital na faixa UHF

Faixa de Canais	Banda (MHz)	Frequência central (MHz)
14	470-476	473
68	794-800	797

Tabela 2: Classificação das estações UHF em função de suas características máximas

Classe	Canais	ERP máx.	Distância máxima ao contorno protegido
Especial	14a 46 47a 68	80kW 100kW	57km
A	14 a 68	8kW	42km
B	14 a 68	0,8kW	29km
C	14 a 68	0,08k	18km

A característica fundamental de uma antena é a forma como ela irradia energia no espaço. O diagrama de irradiação descreve graficamente esta característica em um determinado plano – horizontal ou vertical (SANCHES, 2005).

As propriedades de irradiação podem ser compreendidas por meio da representação de um dipolo ideal, conforme pode ser observado na Fig. 3 (STUZMAN; THIELE, 1998):

De acordo com o diagrama a propagação no plano horizontal, os sistemas irradiantes classificam-se em dois tipos (Norma nº 01/2010-MC):

**a) omnidirecional:** quando o diagrama de irradiação horizontal da antena apresenta características predominantemente uniformes em todas as direções (360°), conforme fig.2-b.

**b) diretivo:** quando a antena é projetada para que tenha o diagrama de irradiação horizontal com valores predominantes em certas direções (diretividade). São antenas setoriais (SANCHES, 2005).

Em sistemas ponto-multiponto e em ponto-área, como é o caso da radiodifusão, são utilizadas antenas omnidirecionais (SANCHES, 2005). Os diagramas de irradiação de antenas direcionais e omnidirecionais podem ser observados na figura. 4.

Segundo a Norma nº 01/2010-MC, quando o diagrama de irradiação horizontal da antena transmissora for omnidirecional, deverá ser levantado o nível médio do terreno, que corresponde à média aritmética das cotas altimétricas em relação ao nível do mar, tomadas no trecho compreendido entre 3 a 15 km da localização da antena, em pelo menos 12

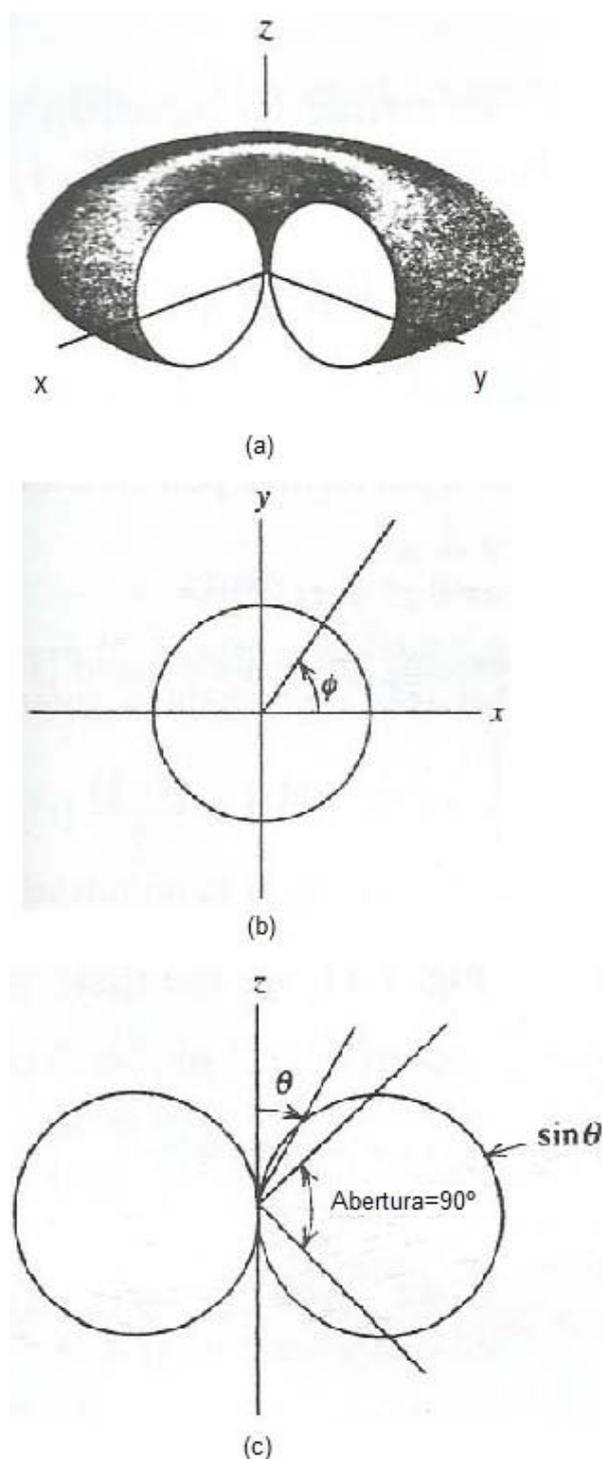


Fig. 3 – Irradiação de um dipolo ideal. (a) Visão tridimensional. (b) Diagrama de irradiação horizontal. (c) Diagrama de irradiação vertical.

direções espaçadas de 30° entre si, tomando por base a direção do Norte Verdadeiro.

Contudo, a norma estabelece a altura do centro irradiante da transmissora em relação ao nível do terreno (HMNT) com o valor de 150m, e a altura da receptora como sendo 10m, segundo as normas da ITU-R P.1546-2. As cotas devem ser obtidas a partir de um Modelo Digital de

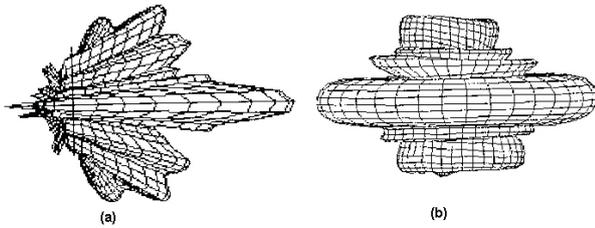


Fig. 4 – Diagramas de irradiação vertical. (a) Antenas diretivas (ou setoriais). (b) Antenas Omnidirecionais.

Elevação.

#### 4.6. Sistemas de Transmissão

Os sistemas de transmissão em enlace de antenas podem ser avaliados sob as seguintes perspectivas (SANCHES, 2005):

##### 4.6.1 Sistemas ponto a ponto

São sistemas baseados na determinação da linha de visada. Nesse tipo de enlace são utilizadas antenas diretivas. Obstruções podem causar desvanecimento do sinal por difração, que, portanto deve ser dimensionada. Dependendo da superfície do percurso, pode haver uma maior ou menor perda por reflexão e multipercurso. Pode também haver perdas devido a fatores atmosféricos, como alta precipitação ou presença de partículas sólidas na atmosfera. A recomendação ITU-R P.530 prevê métodos de predição para esse tipo de abordagem.

##### 4.6.2 Sistemas ponto-multiponto

Mais utilizados na predição de cobertura de áreas abertas e semiabertas, utilizando antenas omnidirecionais ou setoriais, geralmente empregando transmissora e receptora em cotas diferentes. Nesta abordagem é necessário estimar a abertura vertical da transmissora, para avaliar as regiões de sombra e determinar a inclinação da antena.

##### 4.6.3 Sistemas ponto-área

Nesse tipo de propagação, são utilizadas antenas omnidirecionais, que irradiam horizontalmente em 360°, a partir da estação base, ou setor, que possuem uma chapa refletora atrás da antena, direcionando a propagação em um sentido, limitado por um ângulo que define o setor (SANCHES, 2005).

Tem-se o paradigma entre o alcance e a abertura vertical. Para um maior alcance, é

necessário estreitar o ângulo de abertura vertical, o que pode ocasionar regiões de sombra nos locais de menor altitude. Tal problema pode ser solucionado declinando-se a direção da antena em direção ao solo (*tilt* mecânico) ou por meio da implantação de repetidoras de sinal (SANCHES, 2005).

#### 4.7 Área de Cobertura

A área de cobertura é extremamente dependente do meio onde o sinal se propaga. Ela pode ser definida como toda a região que possa ser atendida por um transmissor ou conjunto de transmissores, onde seja possível estabelecer uma conexão com um nível mínimo de sinal. Contudo, dentro desta área de cobertura pode haver localidades que sofrem obstruções e não são atendidas, impossibilitando o estabelecimento de conexão, sendo denominadas de regiões de sombra. Elas podem estar presentes em vários pontos dentro de uma área de cobertura, e são afetadas pelo relevo ao redor da estação (SANCHES, 2005).

A degradação do sinal no trajeto entre um par de antenas é a razão entre a potência emitida e a recebida, dada em decibéis. Neste cálculo, devem ser consideradas todas as perdas associadas às iterações entre o sinal e tudo o que houver no meio de propagação do sinal (SAUNDERS, 2007).

Na predição de uma área de cobertura, a visibilidade do enlace entre as antenas deve ser considerada. O termo *linha de visada* (LOS, do inglês *Line of Sight*) descreve o percurso de propagação direto entre transmissor e receptor livre de obstáculos. Neste caso, o desvanecimento do sinal é lento, logo a variação de potência do sinal recebido é muito pequena, e pode ser modelada pela distribuição de Rice (SANCHES, 2005).

No caso de sinais sem visada direta (NLOS, do inglês *Non-Line-Of-Sight*), a presença de obstruções impede a transmissão do sinal pelo caminho direto, de modo que ele pode ou não estar presente no receptor. Como não há visada, caso o sinal esteja presente além do ponto de obstrução, ele chegará por difração, refração ou reflexão, que são fenômenos de multipercursos. Áreas densamente urbanizadas, com prédios muito altos sofrem mais com esse tipo de obstrução, especialmente em frequências altas,

na faixa de Gigahertz. Devido ao multipercurso, os sinais de rádio sofrem uma grande variação de amplitude, sendo melhor modelados pela distribuição de *Rayleigh* (SANCHES, 2005).

#### 4.8 Modelos de Predição de Perda de Propagação

Há vários modelos de predição da propagação de um sinal com base na visibilidade ou não do enlace. A modelagem do canal é baseada em processos estatísticos determinísticos quando há linha de visada direta, como é o da função de densidade de probabilidade de *Rice*.

Caso não haja visada, as obstruções podem causar reflexão, difração e refração do sinal, de modo que no receptor chegam múltiplos sinais com variadas atenuações, em amplitude e fase, tornando-se assim um processo estocástico, que busca modelar um fenômeno aleatório que evolui no tempo de modo que se possa predizê-lo por meio de leis de probabilidade. Para locais onde há um grande número de percursos indiretos, o canal é melhor modelado pela distribuição de *Rayleigh* (SANCHES, 2005).

Os modelos determinísticos baseiam-se formulações da teoria eletromagnética para prever a área de cobertura de uma região, como a Teoria da Difração Uniforme (UTD, do inglês Uniform Theory of Diffraction) e a Teoria Geométrica da Difração (GTD, do inglês Geometrical Theory of Diffraction). Já os processos estocásticos são baseados em modelos empíricos, e há uma vasta gama deles. Os modelos de predição mais comuns são apresentados na Tabela 3.

Neste estudo, são utilizados os conceitos de Okunura-Hata, que é o modelo de predição adotado pelo Brasil segundo as normas internacionais da ITU para o licenciamento de estações de rádio e TV. Contudo, nada impede que os outros modelos sejam implementados como técnicas de predição da propagação do sinal e modelagens específicas, dependendo das condições do ambiente a ser considerado.

#### 4.9. Zonas de Fresnel

Para dimensionamento de qualquer enlace de rádio, é essencial o estudo da topografia da região, pois a presença de obstruções na Zona de Fresnell pode gerar regiões de sombra (SANCHES, 2005).

Tabela 3: Modelos de predição de propagação do sinal

Modelo	Tipo	Frequência	Meios de Propagação
Okumura-Hata	empírico	0,2 -2GHz	Ambientes urbanos
COST-231 – Hata	empírico	1,5-2 GHz	idades pequenas-médias
Ikegami	determinístico	0,8-3 GHz	Ambientes urbanos
Durkin	semi-empírico	várias	Vários

A teoria do físico francês Augustin-Jean Fresnel (1778-1827) foi desenvolvida inicialmente para a óptica, ao descrever a difração da luz na presença de anteparos ou ao passar por orifícios de diâmetros variados. A zona de Fresnel equivale ao corte transversal dos elipsóides de Fresnel (SILVA,1978). Logo, ela pode ser definida como um conjunto de elipses concêntricas em torno da linha de visada (Fig. 5).

Fresnel estabeleceu que a quantidade de energia transmitida no espaço livre está contida no volume de um elipsóide cujo tamanho depende da frequência e da distância entre a antena emissora e a receptora (SANCHES, 2005).

A área de cada zona de Fresnel é aproximadamente igual, de modo que as contribuições das zonas adjacentes tendem a se cancelar por estarem em diferentes fases. Quanto maior a ordem da zona de Fresnel, menor o valor das contribuições, de modo ao somar todas elas, a partir da primeira, o valor do campo oscilaria, e o resultado final seria ainda a metade daquele obtido se considerássemos apenas a primeira Zona de Fresnel (Fig. 6). Sozinha, ela concentra 50% da potência irradiada (SILVA, 1978).

Para fins de cálculo, em enlaces longos (maiores que 10km) desconsidera-se a diferença

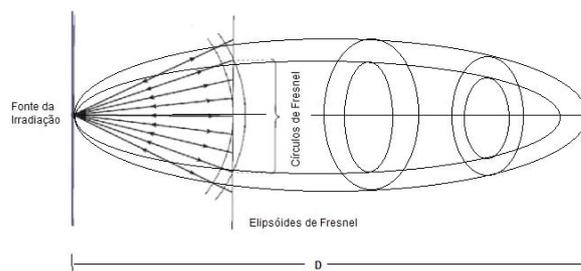


Fig. 5 – Elipsóides de Fresnel. Fonte: do autor.

de altura entre as antenas, de modo que as distâncias entre a emissora de sinal e a obstrução ( $d_1'$ ) e entre a obstrução e a receptora ( $d_2'$ ) ao longo da linha de visada podem ser tomadas em linha reta, representadas por  $d_1$  e  $d_2$  (Fig. 7) (SAUNDERS, 2007).

Em enlaces de antenas, a potência que chega à receptora se dá em função da obstrução causada pelo terreno ao longo do percurso do sinal. Para ter viabilidade, o projeto deve adotar critérios de desobstrução que garantam a recepção de um sinal suficientemente forte para uma transmissão (SILVA, 1978).

Para que o sinal tenha o mínimo de perda, a região de desobstrução deve ser de pelo menos 60% na primeira zona de Fresnel. Para fins de cálculo, o obstáculo é considerado como sendo do tipo “gume de faca”, ou seja, afilado na região que penetra a zona de Fresnel (SILVA, 1978). Nesta modelagem, deve ser comparada a linha de visada entre as antenas transmissora (Tx) e receptora (Rx) com a altura da obstrução (figura8).

O parâmetro  $h$  (Fig. 4) refere-se à diferença de altura entre a linha de visada  $h_{LOS}$  e a altura do obstáculo em questão  $h_{obs}$  (eq.1):

$$h = h_{LOS} - h_{obs} \quad (1)$$

O parâmetro de desobstrução  $v$  é dado por (eq.2):

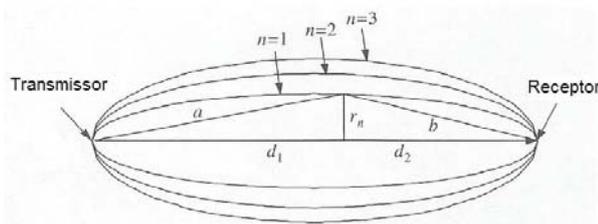


Fig. 6 – Zonas de Fresnel.

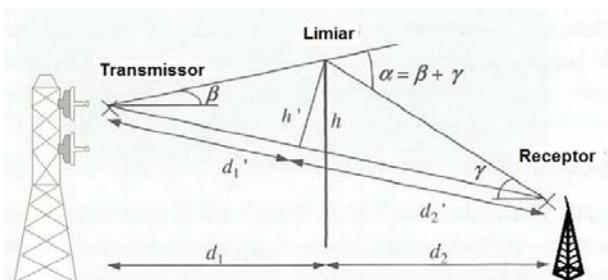


Fig. 7 – Linha de Visada entre transmissor e receptor. Fonte: do autor.

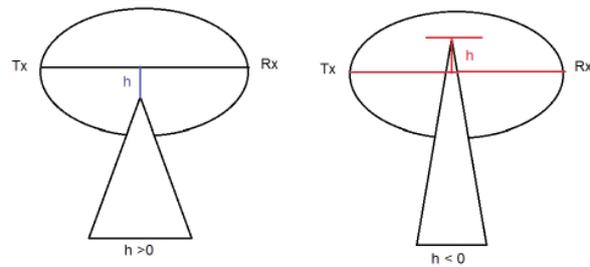


Fig. 8 – Modelagem “gume de faca”. Fonte: do autor.

$$v = \frac{h}{r_1} \quad (2)$$

De acordo com Silva (1978), pela abordagem “gume de faca”, tem-se que:

Se  $h/r_1 > 0$  ( $h > 0$ ) → zona de visibilidade

Se  $h/r_1 < 0$  ( $h < 0$ ) → zona de sombra

Para  $h=0$  → o topo do obstáculo é tangente à linha de visada, obstruindo a metade inferior da zona de Fresnel, acarretando em uma redução de 6dB em relação à potência irradiada, o que equivale a 1/4 da potência do espaço livre.

Para  $h/r_1 \approx 0,6$  → desobstrução de aproximadamente 60% da primeira zona de Fresnel. É o valor mínimo que assegura a transmissão com qualidade do sinal UHF (Fig. 9)

Se  $h/r_1 > 2,6$ , há desobstrução em até pelo menos a 7ª zona de Fresnel, pois  $r_n = \sqrt{n} r_1$  e  $\sqrt{7} \approx 2,6$ . Assim, para esse valor, a propagação se assemelha à do espaço livre.

A perda em dB devido ao obstáculo é estimada da seguinte forma (SANCHES, 2005):

para  $v < 0.75$ :

$$P_{db} = 6 + 12,2v \quad (3)$$

Para  $v \geq 0.75$ :

$$P_{db} = 16 + 20 \log v \quad (4)$$

Para  $h=0$ ,  $v=0$

#### 4.10 Sistema de Referência Geodésico

De acordo com o Decreto nº 32.575, de 10/12/2010, o Distrito Federal deverá adotar como referencial geodésico para o Sistema Cartográfico do Distrito Federal – SICAD - o

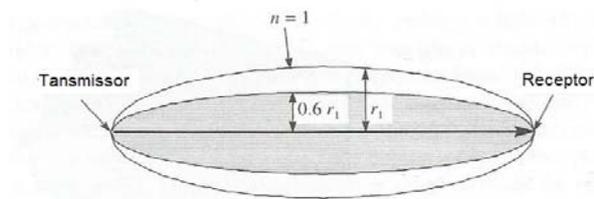


Fig. 9 – Desobstrução da primeira Zona de Fresnel.

Sistema Geodésico Brasileiro, atual SIRGAS 2000,4, em substituição ao antigo sistema Astro Datum Chuá.

O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) adota como Sistema Geodésico de Referência o Sistema de Referência Terrestre Internacional (ITRS, do inglês *International Terrestrial Reference System*).

O Decreto nº 32.575 estipula que este seja o sistema a ser utilizado no SICAD para todos os estudos, trabalhos e projetos de topografia, cartografia e obras de engenharia em geral”, com o prazo de 3 anos para a total implantação. (BRASIL,2010).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item são apresentados os materiais utilizados, bem como os procedimentos aplicados para obtenção dos resultados que serão discutidos no item 6.

### 5.1 Base Cartográfica

Utilizou-se as curvas de nível da base cartográfica e a base hidrográfica do Distrito Federal, na escala 1:10.000, da Companhia Imobiliária de Brasília (TERRACAP, 2010) produto do Mapeamento Aerofotogramétrico realizado pela entidade em junho de 2010.

### 5.2 Geração do MDE

Para o licenciamento das estações de TV, o Ministério das Comunicações exige que seja realizado o levantamento do terreno entre as radiais de 3 e 15km, o com ao menos 50 amostras. Ou seja, em um intervalo de 12km, as amostras serão tomadas em intervalos de 240m. Logo, o tamanho da célula de 50m adotado adequa-se bem aos requisitos do projeto.

A metodologia adotada neste estudo é apresentada na Fig. 10.

O MDE foi gerado a partir das curvas de

nível da Base Cartográfica e reamostrado para células de 50 metros, para permitir a análise dos perfis das linhas e visada.

Para a identificação das cotas altimétricas foram criados *buffers* ao redor da localização da torre de TV-digital Flor do Cerrado, com raio de 3km, e 15km onde é necessário calcular o nível médio do terreno para o licenciamento de canais segundo o Ministério das Comunicações (MC).

Dentro do *buffer* de 15 km, foram traçadas radiais em 12 (doze) direções, com espaçamento de 30° entre elas, conforme exigido pela Norma n. 01/2010 do MC (Fig. 11). A radial do Norte foi alinhada ao Norte Verdadeiro. As radiais foram estendidas ao contorno de serviço de estações da classe Especial, com 57 km de raio. A escolha dessa classe deve-se ao fato de que ela foi designada para transmissão exclusiva de sinal de TV, e além disso este raio cobre praticamente toda a região do Distrito Federal, não cobrindo apenas uma pequena região a Sudeste e a Sudoeste do Distrito Federal (fig.15). Para esta análise, apenas a área de serviço contida dentro dos limites do Distrito Federal foi considerada,

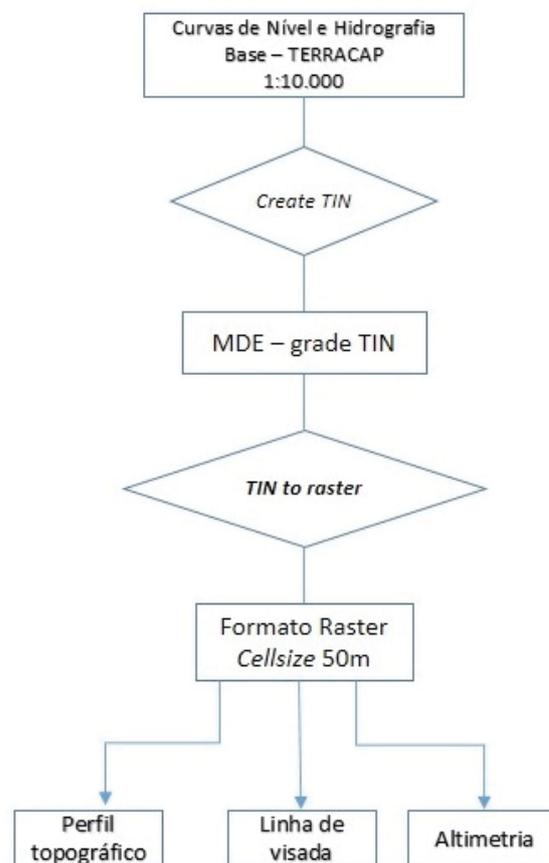


Fig.10 – Fluxograma da metodologia da primeira etapa do procedimento.

área esta que constitui objeto deste estudo sobre propagação de sinais de radiofrequência na faixa do UHF.

Uma vez definidas as radiais que representam as direções a serem analisadas na propagação do sinal, foi realizado o procedimento descrito na Fig. 12.

Foram observadas as linhas de visadas nestas radiais, com offset de 150m de altura para a antena transmissora e 10m de altura para a receptora, e observadas as obstruções e depressões à propagação direta do sinal.

Tais radiais foram prolongadas para o raio do contorno de serviço do canal Especial, dentro do limite do Distrito Federal. Novamente, foram analisadas as linhas de visada com os mesmos parâmetros de altura das torres. Foram então observados os pontos críticos de obstrução em cada radial e as distâncias até eles. A área de cobertura foi definida interligando-se os pontos dessas radiais.

A seguir, foram estimadas as perdas devido à obstrução com base no parâmetro de desobstrução, no raio da primeira zona de Fresnel no local do obstáculo, na cota associada e na distância até este ponto, para uma frequência de 600MHz (pertencente ao espectro UHF).

A partir dos perfis topográficos das doze radiais para as visadas a 15km e a 57 km, foram detectadas as obstruções à linha de visada. Verificou-se, a partir do ponto de vista do transmissor, a distância horizontal até o primeiro obstáculo à linha de visada e a altitude do mesmo. Com esses dados estimou-se a perda na propagação do sinal devido ao relevo, e avaliada a viabilidade da implantação da repetidora naquele ponto, em relação às regiões de sombra nas proximidades, e no caso de inviabilidade, propõe-se posicionamentos alternativos dentro do mesmo percurso. Em seguida foram plotados os canais já definidos pela ANATEL, para fins comparativos.

### 5.3 Cálculo da Zona de Fresnel

O raio da n-ésima Zona de Fresnel é dado pela eq. 5 (SANCHES, 2005):

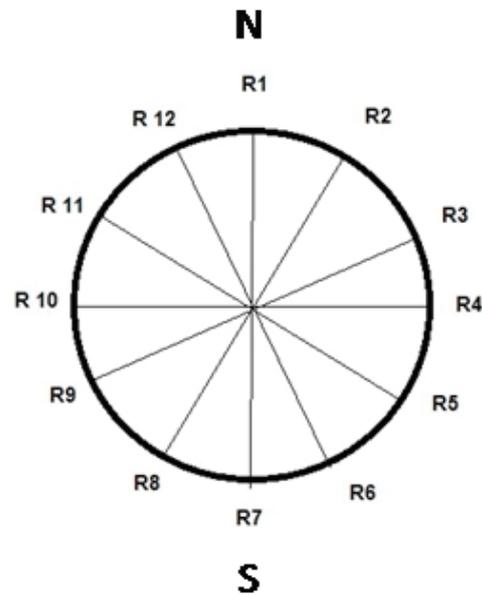


Fig. 11– Radiais definidas para análise do relevo. A radial R1 deve coincidir com o Norte Verdadeiro. Fonte: do autor

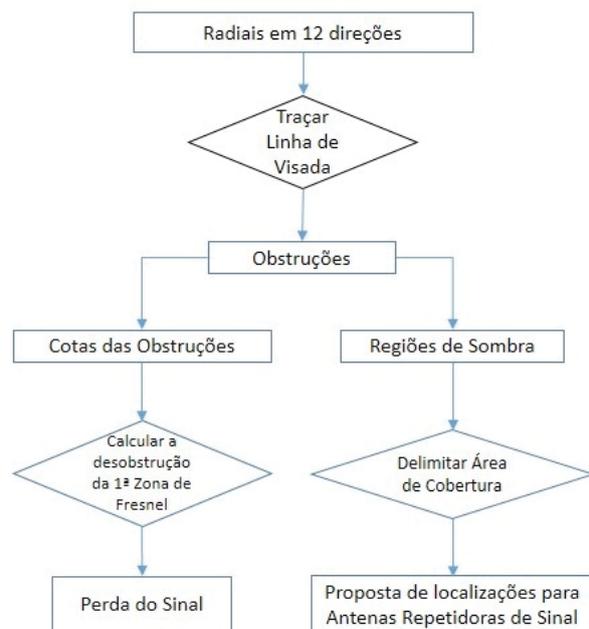


Fig.12 – Fluxograma da metodologia da segunda etapa do procedimento. Fonte: do autor.

$$r_n = 550 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{Df}} \quad (5)$$

Onde:

n - ordem da zona de Fresnel

$d_1$  – distância da emissora até a primeira

obstrução

$d_2$  – distância da obstrução à antena receptora

$$D = d_1 + d_2$$

$f$  – frequência do sinal

Para o cálculo da primeira zona de Fresnel ( $n=1$ ), toma-se o ponto médio da distância entre a transmissora e o local onde se deseja colocar a repetidora. Logo a equação se resume à eq.6:

$$r_1 = 550 \sqrt{\frac{d}{2f}} \quad (6)$$

onde:

$$d = d_1 = d_2$$

Nesta análise foi adotada a frequência de 600MHz, por ser uma frequência intermediário no espectro UHF.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na aplicação dos procedimentos metodológicos apresentados no item 5, cada resultado é discutido e analisado, com a finalidade de subsidiar as conclusões, atendendo os objetivos definidos.

### 6.1 Mapeamento das obstruções e regiões de sombra

Para a análise do enlace e das perdas associadas ao relevo foram gerados perfis topográficos e analisadas as obstruções da linha de visada a partir da torre de TV-Digital Flor do Cerrado. Os potenciais locais para a implantação de antenas repetidoras são identificados em relação à obstrução do terreno, à distância do obstáculo e o quanto ele invade a primeira zona de Fresnel.

Em uma primeira análise, foram levantadas as obstruções dentro do contorno de 15km para as 12 radiais espaçadas de 30°, incluindo-se o Norte Verdadeiro, que será denominada Radial 1.

A numeração das radiais segue o sentido horário. Ao traçar a linha de visada, foi alterado no *offset* a altitude da torre transmissora (150m), que seria o ponto de vista do observador, e altura da receptora (10m) (Fig. 13).

As visadas mostram os pontos de

obstrução do sinal. As áreas com cobertura estão representadas em verde, enquanto que as sombras estão identificadas em vermelho. Os pontos azuis representam os locais onde o relevo intercepta ou invade a linha de visada, gerando zonas de sombra no percurso subsequente. Nesta análise, também foram consideradas as áreas com altitude muito abaixo da primeira zona de Fresnel, onde o sinal chega muito fraco, também gerando sombra.

Para fins comparativos, é apresentado o mapa referentes ao Zoneamento Ecológico do Distrito Federal de 2012. A Fig. 14 descreve as unidades territoriais básicas da paisagem do DF sobre relevo sombreado. As áreas de maior altitude apresentadas na Fig. 14 são descritas na Fig. 14 como a Chapada de Brasília (a Oeste) e a Chapada do Pípiripau (a Nordeste), representando as principais obstruções ao sinal.

Na área delimitada com raio de 15km há uma grande flutuação no nível médio do terreno nas radiais. Observa-se a Nordeste há uma região de elevada cota altimétrica dentro da área de contorno de raio 15km, em forma de semicírculo (Fig. 13 - radiais 1,2 e 3). Essa obstrução muito

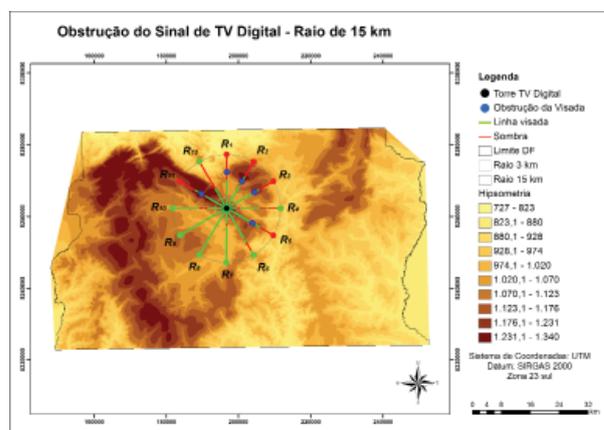


Fig. 13 – Obstrução da linha de visada: contorno de 15km. Fonte: do autor.



Fig.14 – Unidades territoriais básicas da paisagem do DF sobre relevo sombreado.

próxima ocasiona uma maior área de sombra (Fig. 13 - radiais 11 e 12). Também nota-se a Noroeste que a Chapada de Brasília adentra até o contorno de 3km, gerando também uma região de sombra acentuada nessa direção. Isto se deve ao fato de que a Noroeste da torre de transmissão de TV-digital, há uma grande movimentação do relevo devido à presença da Chapada de Brasília, que ali apresenta maiores cotas altimétricas, de modo que a Radial 11 projeta-se para uma cota altimétrica maior do que onde está a emissora, acarretando em uma obstrução bem próxima à torre Flor do Cerrado, e a Radial 12 subsequente apresenta uma região de sombra logo após o declive da região.

As radiais que apresentam maior visibilidade estão contidas na Bacia do Paranoá, atingindo principalmente as regiões do Lago Norte e Asa Norte com melhor qualidade do sinal. Isto porque, estas regiões estão a uma altitude menor do que a torre, e não há obstáculos entre elas.

Para o contorno dos canais da Classe Especial, foram estendidas as radiais na mesma direção para atingir o contorno de 57km, limitando-se às divisas do Distrito Federal, identificando-se os locais de sombra e obstrução, e a partir da interpolação desses pontos foi delimitada uma área de cobertura onde há visibilidade, isto é, onde o sinal chega ao receptor de maneira direta, de modo que haja pelo menos 50% de desobstrução da zona de Fresnel (Fig. 15).

Observa-se na Fig. 15 que a presença da Chapada de Brasília a Oeste obstrui fortemente o sinal, ao passo em que a declividade é crescente desde a bacia do Paranoá em direção às bacias do Rio São Bartolomeu e do Rio Preto. Tomando-se a Radial 6 a partir do norte verdadeiro no sentido horário, nota-se que não há obstrução, contudo há sombra devido à falta de visada, formando uma longa linha sem visibilidade.

Optou-se por limitar a área de cobertura nesse ponto, embora uma repetidora pudesse ser posicionada em algum ponto com visibilidade mais adiante, pois não pode comunicar-se com a torre transmissora e dali é possível inclinar-se a antena repetidora em direção às áreas não cobertas (*tilt* mecânico).

Na Fig. 15 as radiais 3 e 5 a Nordeste e Sudeste, a visibilidade do sinal é mais

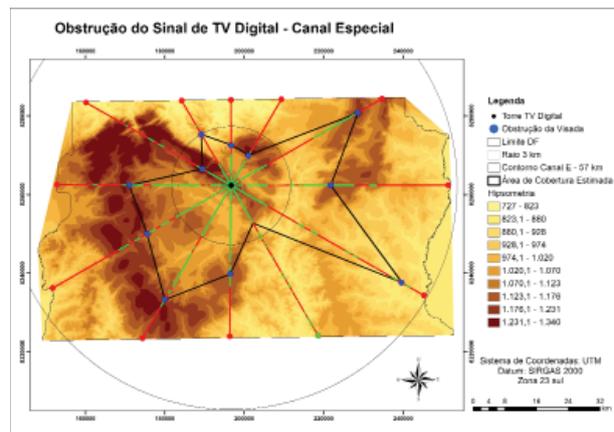


Fig. 15 – Obstrução da linha de visada: contorno de 57km. Fonte: do autor.

prolongada, contudo a Norte a presença de obstáculos dentro do contorno de 15m obstrui o sinal muito próximo à emissora de TV, limitando a sua propagação nessa direção.

## 6.2 Perfis Topográficos

O raio da primeira zona de Fresnel foi calculado para os enlaces a 15 km e a 57 km de distância, obtendo-se os seguintes resultados:

- Para o raio de 15km:  
 $R_1 = 43,48m$
- Para o raio de 57 km:  
 $R_1 = 84,76m$

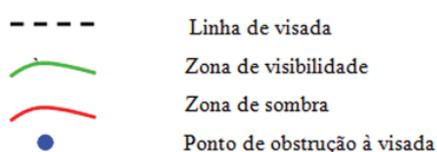
Com base nesses dados, foram analisados os perfis topográficos das radiais para os contornos de 15km e 57km (Fig. 16). As radiais serão divididas de 1 (Norte Verdadeiro) a 6 no sentido horário para análise dos pontos a Leste, e de 7(Sul) a 12 para análise das radiais a Oeste (vide fig.11).

Analisando primeiramente o contorno com raio de 15km, a Leste verifica-se obstrução das radiais 1, 2, 3 e 5. As obstruções 1, 2 e 3 interceptam a linha de visada, porém há pontos com maior cota adiante, onde é mais viável a implantação de repetidoras. Os pontos 2 e 3 ficam a uma altitude de cerca de 50m acima da linha de visada. Considerando-se que o raio de Fresnel para este contorno é de 43,48m, será necessário que esta antena reforce o sinal para retransmissão (repetidora ativa). As radiais 3 e 4 são obstruídas a Leste pela Chapada do Pípiripau. Nas radiais 5 e 6 a sombra está em uma depressão. Deve-se avaliar o custo-benefício da implantação e a demanda de assinantes.

Na região a Oeste do contorno de 15km, conforme observado anteriormente na fig.14, as

obstruções significativas estão localizadas na direção da Chapada de Brasília, configuradas nas radiais 11 e 12. Em ambos os casos, seria necessário a implantação de repetidoras. Sendo que no caso da radial 11 ela teria que ser deslocada cerca de 2km adiante da obstrução.

Os pontos de obstrução da linha de visada são indicados com pontos azuis. A linha de visada é tracejada. Os locais no relevo onde há visibilidade a partir do ponto de vista do transmissor são indicados pela linha verde, as obstruções à linha de visada são indicadas com um ponto azul e as regiões de sombra em vermelho, conforme a legenda a seguir:



Para a área de contorno do Canal Especial (raio de 57km), foi observado que nas radiais 1 e 2, o relevo obstrui o sinal dentro do contorno de 15m, gerando uma grande área de sombra a Norte. A Leste as obstruções devem-se à interceptação da Chapada do Pípiripau e as demais relacionam-se com a grande diferença de declividade entre a emissora e as regiões mais baixas, onde há pontos que chegam a estar cerca de 350m abaixo da linha de visada, conforme pode ser observado na radial 3.

Esta sombra se deve à obstrução presente a 10km do transmissor, que embora não afete a linha de visada, impossibilita a chegada do sinal diretamente nas regiões subsequentes. Caso houvesse uma total desobstrução de até a 7ª zona de Fresnel, o que equivaleria a 593,32m abaixo da LOS (eq.5), a propagação se assemelharia àquela do espaço livre (SILVA, 1978).

No contorno de 57km, observa-se que em todas as radiais há obstrução devido a Chapada de Brasília, localizada a Oeste, onde ela forma um cinturão que constitui um grande obstáculo à propagação do sinal, gerando assim uma vasta área de sombra nesta área, que irá demandar uma quantidade maior de repetidoras de sinal para a região.

A Leste, a movimentação de relevo é muito menor, e como a Torre de TV Digital está situada em um local de altitude elevada, não há

obstruções tão significativas (fig.17).

As tabelas 4 e 5 descrevem as zonas de obstrução ao sinal e locais alternativos para implantação de repetidoras.

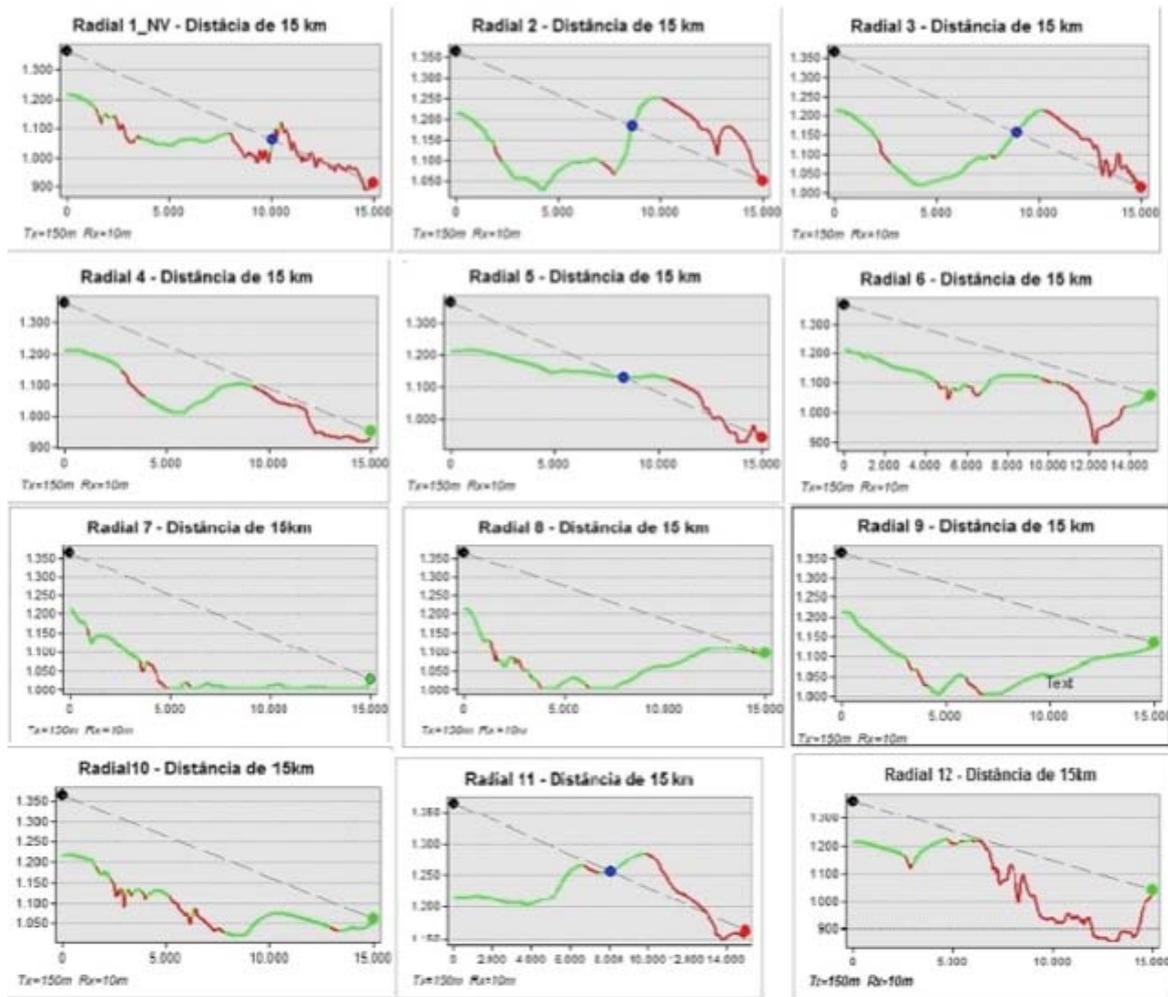
A ANATEL definiu para o Distrito Federal 8 estações repetidoras de TV-digital (RTVD), algumas com as mesmas coordenadas, por pertencerem a classes diferentes de canais (tabela 6). Pode-se observar que elas estão concentradas a Oeste (Fig. 18), onde a cota altimétrica é bem maior do que a Leste. Uma delas está localizada no raio de 3 km, onde a obstrução está mais próxima da antena. O Oeste, também há um maior adensamento populacional (figura19), enquanto que a leste predominam condomínios e zonas rurais (BRASIL, 2012).

Sugere-se ainda a implantação de repetidoras em algumas outras regiões a Leste e a Norte, para expansão da área de cobertura com um nível de sinal adequado (Fig. 18).

Na Fig. 18 é possível notar que as localidades das repetidoras de TV definidas pela ANATEL se concentram nas regiões de maior cota altimétrica do DF, com duas antenas posicionadas logo atrás da Chapada de Brasília. Nas radiais 8 e 10 nota-se que estas duas localidades estão aproximadamente na mesma direção de outras duas localidades propostas neste estudo. É interessante observar, que nestas mesmas radiais há duas repetidoras estipuladas pela ANATEL dentro do raio de 15km, sucedendo-se na mesma direção mais outras duas, sugerindo que ali há o estabelecimento de um link. Neste estudo foi detectada a necessidade de repetidoras aproximadamente nessas mesmas direções, contudo foi estimada apenas uma repetidora em cada radial, nos pontos de maior cota altimétrica.

O posicionamento definido pela ANATEL para as repetidoras se aproxima bastante das áreas de maior adensamento populacional, concentrando-se na região Sudoeste do Distrito Federal, conforme pode ser observado na fig.19. As regiões mais populosas possuem setores censitários mais segmentados, o que dá uma noção mais clara da concentração de habitantes nestas áreas, e elas coincidem com os locais que a ANATEL elegeu para a implantação de repetidoras.

A Leste de Brasília a ANATEL previu repetidoras. Nesta região está presente a Bacia do Rio Preto e São Marcos (figura.20),



LEGENDA

-  Linha de visada
-  Zona de visibilidade
-  Zona de sombra
-  Ponto de Obstrução à visada

**PERFIL DE RADIAIS  
CONTORNO – 15 km**

Fig. 16 – Contorno de 15km – Radiais de 1 a 12. Fonte: do(a) autor.

onde há a Zona Rural de Uso Diversificado e menor concentração demográfica, conforme o Zoneamento Ecológico-econômico do DF.

As perdas associadas a cada enlace são calculadas com base nos parâmetros listados na tabela 7.

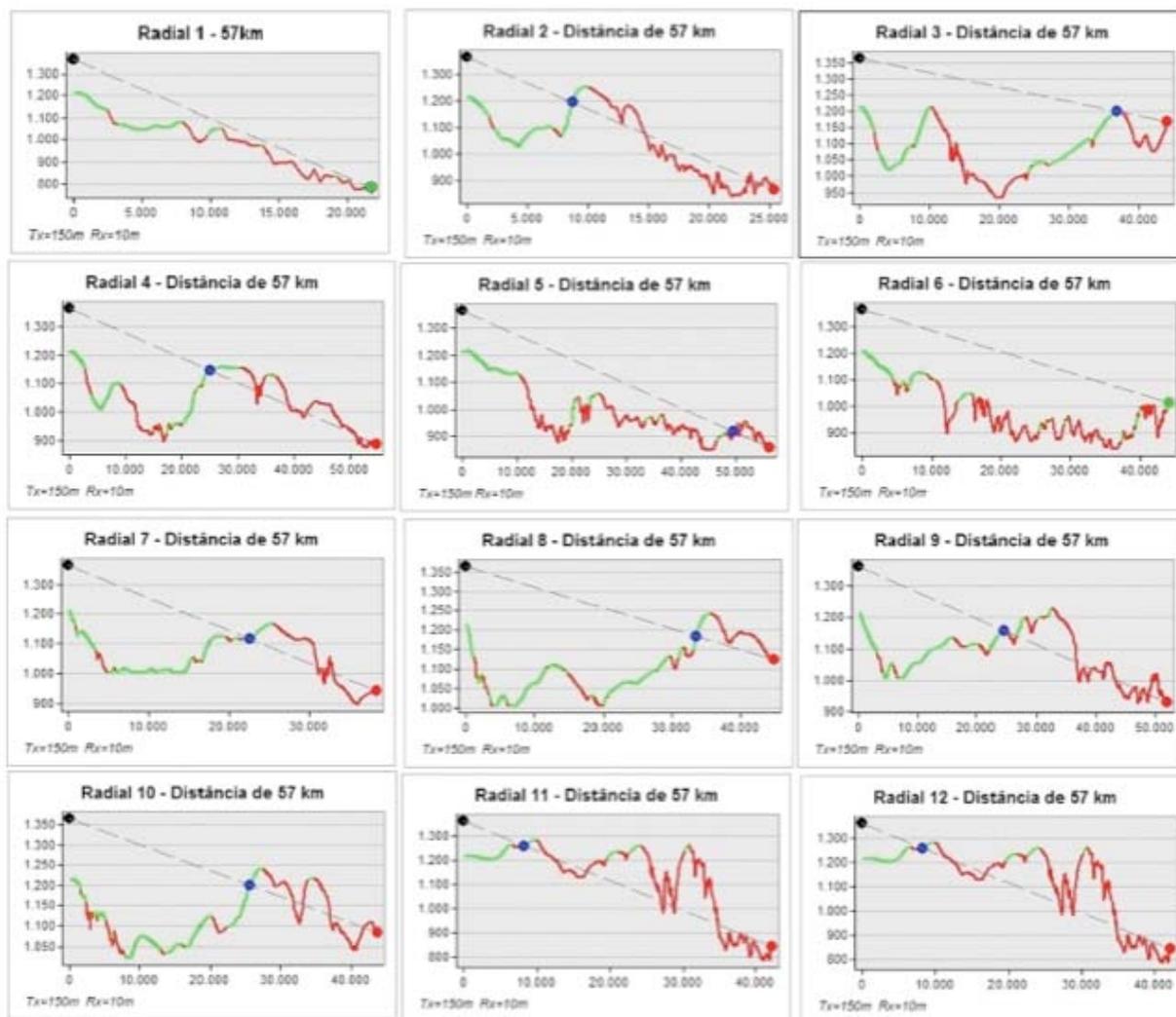
A tabela 9 apresenta a obstrução dentro do raio de 15km causando uma perda acentuada no receptor, pois o obstáculo estará mais próximo da antena emissora, como é o caso dos pontos 9 e 12. O ponto 6 representa o local onde o relevo tem as menores cotas altimétricas, obstruindo muito pouco o percurso do sinal, com baixa perda. Obstáculos próximos à emissora também

causam maior região de sombra.

**7. CONCLUSÃO**

Por meio do presente estudo foi possível verificar a aplicabilidade do SIG à área de telecomunicações, para prever a área de cobertura de antenas e a necessidade de implantação de repetidoras de sinal, atende às disposições da ANATEL, e utilizando-se ferramentas de sistema de informação geográfica, para avaliações das condições do relevo, no que tange as áreas de cobertura e obstrução de sinal.

Os resultados obtidos confirmam a relevância do uso de modelagens espaciais em



LEGENDA

-  Linha de visada
-  Zona de visibilidade
-  Zona de sombra
-  Ponto de Obstrução à visada

**PERFIL DE RADIAIS  
CONTORNO – 57 km**

Fig. 17 - Contorno de 57km – Radiais de 1 a 12. Fonte: do autor.

telecomunicações, visando facilitar e otimizar os trabalhos dos projetistas em projetos de radio-enlace, reduzindo significativamente os trabalhos de campo e permitindo a obtenção de resultado altamente significativos, com baixo custo de materiais e com resolução espacial compatível com as determinações da ANATEL.

Contudo, vale destacar que, para o estudo de sinais UHF, foi suficiente o uso de um MDE. No entanto, para sinais de celular, que possuem mais altas frequências e são mais suscetíveis a obstruções como prédios, o uso de um MDS pode garantir mais acurácia aos

resultados, pois ele leva em conta edificações e vegetação, permitindo, por exemplo, a análise de multipercursos, que influenciam mais os sinais na faixa de GHz, o que não é o caso dos sinais UHF, que operam em MHz.

**AGRADECIMENTOS**

À ESRI, pela disponibilização do software ArcGIS® de forma gratuita ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, que possibilitou o desenvolvimento da presente pesquisa.

Tabela 4: Locais de obstrução e locais alternativos – raio de 15km

Pto de Obstrução	Nova Repetidora	Coordenadas dos Locais de Obstrução		Coordenadas dos Locais Alternativos	
		E	N	E	N
1	S	196.412	8.272.713	196.707	8.272.4198
2	S	201.174	8.270.200	201.677	8.270.9421
3	S	228.810	8.280.876	-	-
4	S	221.825	8.262.381	224617	82623521
5	S	239.552	8.237.643	218312	82498323
6	S	200.848	8.252.771	-	-
7	S	196.518	8.239.859	196.487	8.237.275
8	S	179.955	8.233.297	179.276	8.231.919
9	S	175.391	8.249.953	-	-
10	S	171025	8262455	169.710	8262389
11	S	189.321	8.266.569	-	-
12	S	189189	8275366	-	-

Tabela 5: locais de obstrução e locais alternativos – raio de 57Km

Pto de Obstrução	Coordenadas dos Locais de Obstrução		Coordenadas dos Locais Alternativos	
	E	N	E	N
1	196.412	8.272.714	196.707	8.272.419
2	201.175	8.270.200	201.677	8.270.942
3	228.810	8.280.876	-	-
4	221.825	8.262.382	224617	8262352
5	239.553	8.237.643	218312	8249833
6	200.848	8.252.771	-	-
7	196.518	8.239.859	196.488	8.237.275
8	179.955	8.233.297	179.276	8.231.919
9	175.391	8.249.953	-	-
10	171025	8262454	169710	8262389
11	189.321	8.266.569	-	-
12	189189	8275366	-	-

Tabela 6: Locais estipulados pela anatel para repetidoras de TV-digital

Canal	Classe	Lat	Long	Faixa-MHz
18	A	15°41'31" S	47°51'13"	499,75
34	A	15°47'25" S	47°53'36"	595,75
41	A	15°41'31" S	47° 51' 13"	637,75
45	A	15°41'31" S	47° 51' 13"	661,75
47	A	15°41'31" S	47° 51' 13"	673,75
31	A	15°47'47" S	47°53'31"	577,75
20	C	15°40'45" S	48°11'38"	511,75
20	B	15°59'50" S	48 °03'18"	511,75

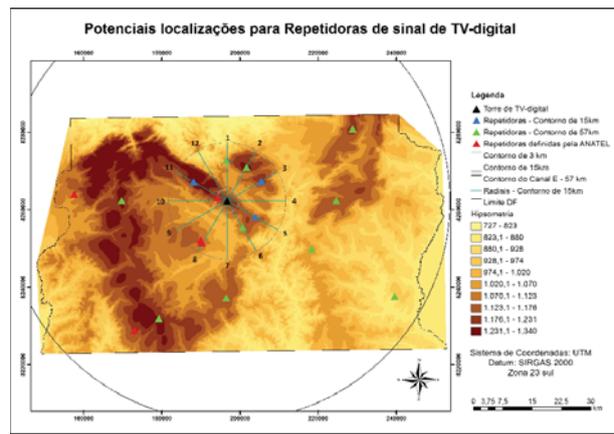


Fig. 18 – Posicionamento das repetidoras comparativamente às definidas pela Anatel. Fonte: do autor.

Repetidoras de TV-Digital em relação à população do DF

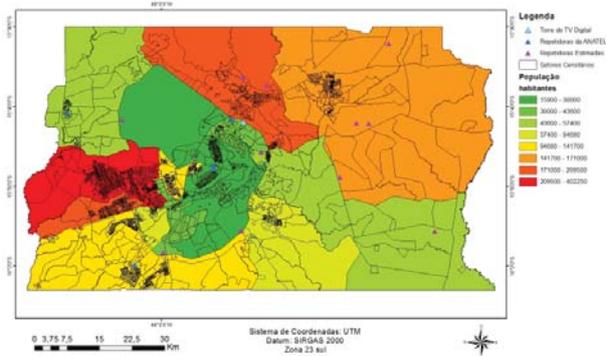


Fig. 19 – Densidade demográfica do DF e posicionamento das repetidoras de TV.

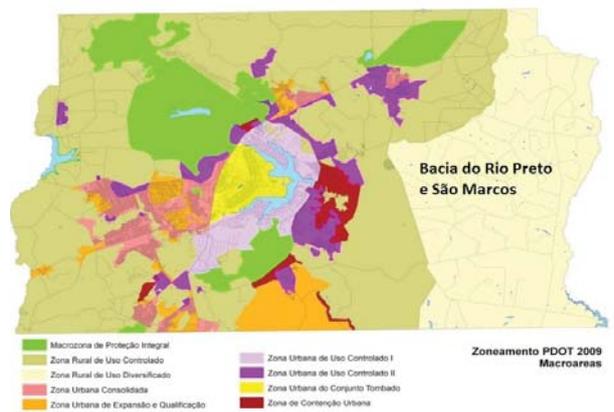


Fig. 20 - Zoneamento Rural e Urbano.

Tabela 7: Listagem de parâmetros

Parâmetros	
Comprimento do enlace	D
Frequência	F
Fator de correção curvatura	k
altitude da antena A ao nível do mar	h1
altitude da antena B ao nível do mar	h2
altitude da obstrução ao nível do mar	ho
distância da obstrução a estação A	d1
distância da obstrução a estação B	d2
Raio da primeira zona de Fresnel na obstrução	rs
Altitude da linha de visada na obstrução	LOS
Diferença entre a LOS e o obstáculo	Cs
Parâmetro de difração	u
Perda causada pela obstrução	Perda

Tabela 8: Cálculo da perda do sinal devido a obstrução – raio de 57km

P = Ponto de Obstrução						
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
D	57	57	57	57	57	57
F	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
k	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
h1	1365	1365	1365	1365	1365	1365
h2	780,8	870	1169,2	888,3	860	1014,3
ho	1074,5	1195,9	1200	1140,6	918,4	1091,6
d1	10,28	8,75	36,9	25,1	49,7	11,1
d2	46,72	48,25	20,1	31,9	7,3	45,9
rs	65,2	61,11	81	84,2	56,7	67,1
LOS	1212,5	1247,6	1165,5	1076,8	889,2	1246,8
Cs	-138,1	-51,7	34,5	63,8	29,3	-155,3
u	-2,1	-0,8	0,4	0,8	0,5	-2,3
<b>Perda</b>	<b>-19,8</b>	<b>-4,3</b>	<b>11,2</b>	<b>13,6</b>	<b>12,3</b>	<b>-22,2</b>
	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12
D	57	57	57	57	57	57
F	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
k	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
h1	1365	1365	1365	1365	1365	1365
h2	947,5	1124,9	920	1083,8	832,1	812,2
ho	1117,2	1182,3	1169,9	1204,9	1262,9	1021,4
d1	22,6	33,5	24,5	25,7	8,4	15
d2	34,4	23,5	32,5	31,3	48,6	42
rs	82,9	83,4	83,9	84,3	60	74,6
LOS	1123,5	1146,6	1095,6	1159,5	1246,8	1157,7
Cs	-6,3	35,7	74,3	45,4	16,1	-136,3
u	-0,1	0,4	0,9	0,5	0,3	-1,8
<b>Perda</b>	<b>5,1</b>	<b>11,2</b>	<b>14,9</b>	<b>12,6</b>	<b>9,3</b>	<b>-16,3</b>

Tabela 9: Cálculo da perda do sinal devido a obstrução – raio de 15km

P = Ponto de Obstrução						
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
D	15	15	15	15	15	15
F	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
k	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
h1	1365	1365	1365	1365	1365	1365
h2	878,6	1028,4	1015	929,6	933,5	1047,7
ho	1038,6	1196,9	1058	1093,1	1130,6	1089,6
d1	10	8,7	8,88	9,2	8,3	10,9
d2	5	6,3	6,12	5,8	6,7	4,1
rs	41	42,9	42,7	42,3	43,2	38,8
LOS	1035,8	1164,4	1152	1092,8	1120,5	1130,4
Cs	2,74	32,5	-94,1	0,33	10,06	-40,8
u	0,1	0,76	-2,2	0,1	0,2	-1,1
<b>Perda</b>	<b>6,8</b>	<b>13,6</b>	<b>-20,86</b>	<b>6,1</b>	<b>8,8</b>	<b>-6,8</b>
	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12
D	15	15	15	15	15	15
F	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
k	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
h1	1365	1365	1365	1365	1365	1365
h2	1018,4	1086,5	1127	1050,5	1157,1	1042,1
ho	1063,2	1075	1080	1114,7	1256,7	1121,2
d1	4,3	3	3,3	5,2	8,1	6,2
d2	10,7	12	11,7	9,8	6,9	8,7
rs	39,3	34,8	36,1	41,4	43,4	42,9
LOS	1261,1	1305,8	1309	1251	1247,8	1225,1
Cs	-197,9	-230,8	-228,5	-136,2	8,8	-103,9
u	-5,1	-6,6	-6,3	-3,3	0,2	-2,4
<b>Perda</b>	<b>-55,4</b>	<b>-74,9</b>	<b>-71,2</b>	<b>-34,2</b>	<b>8,5</b>	<b>-23,6</b>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATEL. Superintendência de Serviços de Comunicação em Massa. **Plano Básico de Distribuição de canais - Plano Básico RTV**. p.1-2. Disponível em <<http://sistemas.anatel.gov.br/siscom/consplanobasico/default.asp>>. Acessado em: 20 de setembro de 2013.

BRASIL. **Decreto n. 5.820**, de 29 de junho de 2006. Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5820.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5820.htm)>. Acessado em: 30 de agosto de 2013.

BRASIL. **Decreto n. 8.061**, de 29 de julho de 2013. Altera o Decreto n. 5.820, de 29 de

junho de 2006, o Regulamento dos Serviços de Radiodifusão. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Decreto/D8061.htm#art1](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Decreto/D8061.htm#art1)>. Acessado em 20 de setembro de 2013.

BRASIL. **Decreto n. 32.575**, de 10 de Dezembro de 2010. *Diário Oficial do Distrito Federal*, Brasília, DF, 13 dez. 2010. Disponível em <[http://www.sinj.df.gov.br/SINJ/Arquivo.ashx?id\\_norma\\_consolidado=66791](http://www.sinj.df.gov.br/SINJ/Arquivo.ashx?id_norma_consolidado=66791)>. Acessado em: 10 de novembro 2013.

BRASIL. Governo do Distrito Federal. Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente; Greentech Tecnologia Ambiental. **Produto 5 – Relatório de Zoneamento e Diretrizes do Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal**. Brasília, 2012. p.20-24. Disponível em <[http://www.zee-df.com.br/Arquivos%20e%20mapas/produto\\_5\\_relatorio\\_zoneamento.pdf](http://www.zee-df.com.br/Arquivos%20e%20mapas/produto_5_relatorio_zoneamento.pdf)>. Acessado em: 30 de outubro de 2013.

BRASIL. Governo do Distrito Federal. Companhia Imobiliária de Brasília – TERRACAP. **Termo de Referência para a contratação de levantamento Aerofotogramétrico Digital para a Geração de Ortofotos do território do Distrito Federal e Entorno Imediato**, 2012. p.3-4. Disponível em <<http://www.terracap.df.gov.br/internet/arquivos/0100609159.pdf>>. Acessado em: 30 de outubro de 2013

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V.; DRUCK, S.; CARVALHO, M.S. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. p.1-8. (ISBN: 85-7383-260-6). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acessado em: 30 de setembro de 2013.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. MONTEIRO, A.M.V. (eds.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.p.1-3. (ISBN: 85-7383-260-6). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>>. Acessado em: 1 de outubro de 2013.

CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal**. Brasília: CODEPLAN, 1984. 316 p.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente; Greentech Tecnologia Ambiental. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal: Plano de Trabalho-Produto I**. Brasília, 2012. p.31, 43, 45-46, 68. Disponível em <[http://www.zee-df.com.br/Arquivos%20e%20mapas/Plano\\_de\\_Trabalho\\_ZEEDF.pdf](http://www.zee-df.com.br/Arquivos%20e%20mapas/Plano_de_Trabalho_ZEEDF.pdf)>. Acessado em: 15 de outubro de 2013.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **Recommendation ITU-R P.1546-2: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 Mhz to 3000 Mhz**. ITU-Radiocommunication, 2005. p. 1-5, 14-15, 32-36. Disponível em <<http://www.itu.int/rec/R-REC-P.1546/en>>. Acessado em: 25 de junho de 2013.

JENSEN, J.R. Fotogrametria. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. 2ª ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2011. p.175-187.

MARTINS, E. de S.; REATO, A.; CARVALHO JR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Evolução Geomorfológica do Distrito Federal**. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2004, 57p.

NAVEENCHANDRA, B., LOKESH, K. N., USHA, BAHT, H. G.. **Signal Strength Measurements and Cover Estimation of Mobile Communication Network Using IRS-IC Multispectral and Cartosat-1 Stereo Images**. In: *GEOSPATIAL WORLD FORUM*. Hyderabad, 2011. p.1-4. Disponível em <<http://www.geospatialworldforum.org/2011/proceeding/pdf/NaveenchandraFullPaper.pdf>> Acessado em: 30 de novembro 2013

RAPPAPORT, T.S. **Wireless Communications: Principles and Practice**. 2<sup>nd</sup> Ed. Upper Saddle River: Ed. Prentice Hall, 2011. p.105-109, 113, 126-132.

ROJAS, E. **Brasil está pronto para receber a rede 3G**. Editora Abril. Revista Veja, 13 de Abril, 2013. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/vida-digital/brasil-esta-pronto-para-receber-rede-4g>>. Acessado em: 12 de junho de 2013.

SANCHES, C.A.; **Projetando Redes WLAN: Conceitos e Práticas**. 1. Ed. São Paulo: Editora Érica, 2005. 342p.

SILVA, G.M.O.; SANTOS, J.C.A.; DIAS, M.H.C. Predição de Cobertura de Sistemas VHF e UHF em cenários com morfologias mistas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES*, XXVIII, 2009, Blumenau. 6p.

SILVA, G.; BARRADAS, O. PROPAGAÇÃO. **Telecomunicações: Sistemas Radiovisibilidade**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: 1978. p. 47-53.

STUTZMAN, W.L.; THIELE, G.A. Antenna Fundamentals and Definitions. **Antenna Theory and Design**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998 .p.25-37.

TERRACAP, 2010. **Mapeamento cartográfico do Distrito Federal**. Escala 1:10.000. Disponível em: <http://www.sedhab.df.gov.br/desenvolvimento-urbano/gestao-da-informacao-urbanas/mapas.html>. Acessado em: 30 de setembro 2013.

WAGEN, J; RIZK, K. Radiowave propagation, building databases, and GIS: anything in common? A radio engineer's viewpoint. **Environment and Planning B: Planning and Design**, Lausanne, v. 30. P. 767-787, 2003. Disponível em < <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/ad?doi=10.1.1.131.5828&rep=rep1&type=pdf>> Acessado em: 01 de dezembro de 2013.