

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME DITZEL PATRIOTA

**MODELO DE PROPAGAÇÃO OUTDOOR PARA REGIÃO URBANA
DENSE NA CIDADE DE CURITIBA**

**CURITIBA
2011**

GUILHERME DITZEL PATRIOTA

**MODELO DE PROPAGAÇÃO OUTDOOR PARA REGIÃO URBANA
DENSE NA CIDADE DE CURITIBA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, pelo Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Horácio Tertuliano dos Santos Filho

**CURITIBA
2011**

Patriota, Guilherme Ditzel

Modelo de propagação outdoor para região urbana densa na cidade de Curitiba / Guilherme Patriota Ditzel. – Curitiba, 2011.
135 f. : il.; tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Orientador: Horácio Tertuliano dos Santos

1. Telecomunicações. 2. Rádio. 3. Fuzzi. I. Santos, Horácio Tertuliano dos. II. Título.

CDD 621.381



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
PPGEE
Setor de Tecnologia

ATA DE DEFESA DE MESTRADO

Aos trinta e um dias do mês de agosto de 2011, na Sala PK 07 do Departamento de Engenharia Elétrica, foi instalada pelo Prof. Dr. Evelio Martín García Fernández, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em **Sistemas Eletrônicos**, a Banca Examinadora para a centésima primeira Dissertação de Mestrado do PPGEE. Estiveram presentes no ato, além do Coordenador do Curso de Pós-Graduação, professores, alunos e visitantes.

A Banca Examinadora, atendendo determinação do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, ficou constituída pelos professores doutores **Horácio Tertuliano dos Santos Filho (Orientador - UFPR)**; **Evelio Martín García Fernández (DELT - UFPR)**, **César Augusto Dartora (DELT - UFPR)** e **José Ricardo Descardecí (UFT)**.


Às 09:00 horas, a banca iniciou os trabalhos, convidando o candidato **GUILHERME DITZEL PATRIOTA** a fazer a apresentação da dissertação intitulada "**MODELO DE PROPAGAÇÃO OUTDOOR PARA REGIÃO URBANA DENSA NA CIDADE DE CURITIBA**". Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes.

Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca decidiu pela:

APROVAÇÃO

NÃO APROVAÇÃO do candidato, (de acordo com a determinação da Resolução 63/03-CEPE).

Curitiba, 31 de agosto de 2011.



Prof. Dr. **Horácio Tertuliano dos Santos Filho**



Prof. Dr. **Evelio Martín García Fernández**



Prof. Dr. **César Augusto Dartora**



Prof. Dr. **José Ricardo Descardecí**



DEDICATÓRIA

Aos meus pais Beatriz e Clóvis, que nunca duvidaram de minha capacidade e sempre estiveram ao meu lado.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Sem ajuda e compreensão eu não seria nada. Sem a iluminação de grandes mestres e sem o incentivo de meus amigos eu não chegaria aonde cheguei. Aos meus pais, muito obrigado pelo apoio incondicional. Aos meus amigos, muito obrigado pela paciência e aos meus mestres, muito obrigado pela iluminação do caminho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e divulgação deste trabalho, meu eterno agradecimento e que continuem sempre incentivando nós, eternos alunos, a realizarmos feitos grandiosos.

A minha equipe de trabalho, sua organização tornou meu desafio de lidar com o tempo possível.

EPÍGRAFE

Um projeto de telecomunicações necessita de algumas boas ideias, bons projetistas, delimitações e boas ferramentas. Esta dissertação visa não só abrir os horizontes de um futuro projetista para possibilidades gratuitas de boas ferramentas como também deseja apresentar uma forma fácil de gerar um projeto de radiodifusão seguindo-se alguns poucos passos simples, guiados pelo software PRORAD, gerado neste projeto. O projeto PRORAD objetiva chegar longe em ferramentas de geração de radio enlaces de forma simples e com bases de dados totalmente integradas com o Google Maps. Uma ótima leitura e que esta dissertação amplie ainda mais seus horizontes em telecomunicações.

“A leitura após certa idade distrai excessivamente o espírito humano das suas reflexões criadoras. Todo o homem que lê de mais e usa o cérebro de menos adquire a preguiça de pensar.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Inúmeros modelos de propagação são encontrados na literatura, entretanto para cada situação de projeto é necessário se alterar determinados parâmetros para um resultado aceitável. Esta dissertação apresenta uma releitura de alguns modelos existentes e introduz uma compilação de diversos conceitos e modelos em uma única formulação para uso específico no centro da cidade de Curitiba. Com a intenção de ampliar os horizontes dos profissionais da área para novas facilidades e ferramentas gratuitas, a presente dissertação ainda objetiva introduzir um novo modelo de propagação para a região urbana densa da cidade de Curitiba, incluindo-o na ferramenta gratuita PRORAD desenvolvida no Laboratório de Telecomunicações da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A partir da análise dos principais modelos de propagação, pôde-se encontrar pontos fortes e fracos em cada um. Ao reunir o que cada um destes modelos tem de melhor a oferecer em uma única formulação, acrescentando-se modelagens novas para efeitos de onda não contemplados na maioria destas formulações gerou-se um modelo melhor adaptado para a área em estudo. Na fase de validação foi aplicado uma metodologia de testes na formulação proposta em comparação com modelos clássicos e dados reais de medidas de sinal e, como resultado, boas respostas puderam ser percebidas com o uso desta nova formulação. Finalmente, a formulação apresentada resultou em boas predições de propagação na área estudada e os principais problemas de baixo sinal apontados puderam ser previstos com a mesma, porém este modelo se mostrou muito complexo no que diz respeito à base de dados utilizada para simulações.

Palavras-chave: PRORAD; Rádio Enlace; Projeto; Telecomunicações; Google Maps API; Elevação; Geocodificação; Fuzzy; Morfologia.

ABSTRACT

Several propagation models are found in the literature, however for every situation it is necessary to change certain parameters for an acceptable result. This dissertation presents a rereading of several existing models and introduces a compilation of various concepts and models in a single formulation specifically for use in the Curitiba's downtown. With the intention to broaden the horizons of professionals for new facilities and free tools the present dissertation also intends to introduce a new propagation model for dense urban area of Curitiba, including it to the free tool PRORAD, developed in the laboratory of telecommunications of Universidade Federal do Paraná (UFPR). To achieve the objective strengths and weaknesses were identified by analysing the main propagation models. When compiling the best of each of these models in a single formulation and adding types of modeling for wave effects not covered in most of these formulations a best suited model for the study area was generated. By applying a methodology to test the proposed equation in comparison to classical models and real measured signal data, an excellent prediction was produced. At last the presented formulation resulted in good predictions of propagation for the studied area and the main problems of low signal were predicted, however this model required a very complex database for simulations.

Key-words: Radiolink; PRORAD; Project; Telecommunications; Google Maps API; Elevation; Geocodification; Fuzzy; Morfology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1	REPRESENTAÇÃO DA PRIMEIRA ZONA DE FRESNEL	29
FIGURA 2.2	EFEITOS DE PROPAGAÇÃO DE ONDA	30
FIGURA 3.1	VALORES DE DECAIMENTO E PONTO DE INTERSEÇÃO DERIVADOS DE MEDIDAS REAIS	39
FIGURA 3.2	DETERMINAÇÃO DO PONTO ESPECULAR A ALTURA EFETIVA PARA $G_{EFFH} < 0$	41
FIGURA 3.3	DETERMINAÇÃO DO PONTO ESPECULAR A ALTURA EFETIVA PARA $G_{EFFH} > 0$	42
FIGURA 3.4	DIAGRAMA DOS PARÂMETROS DE ν PARA PERDA POR DIFRAÇÃO NO TERRENO COM E SEM VISADA DIRETA	44
FIGURA 3.5	EXEMPLO TRIDIMENSIONAL DE UMA PROPAGAÇÃO COM DIVERSOS EFEITOS ENVOLVIDOS, COMO ESPALHAMENTO, REFLEXÃO E DIFRAÇÃO	50
FIGURA 3.6	CASO TÍPICO DE PROPAGAÇÃO EM ZONA URBANA COM ALGUNS PARÂMETROS USADOS NO EQUACIONAMENTO DO MODELO COST-WI	50
FIGURA 3.7	RECEPÇÃO DE SINAL SEM VISADA DIRETA E COM ANTENA DE T_x ACIMA DOS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS PRÓXIMOS	51
FIGURA 3.8	VISTA AÉREA DE EXEMPLO DE RECEPÇÃO DE SINAL SEM VISADA DIRETA E ANTENA DE T_x ABAIXO DOS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS PRÓXIMOS	51
FIGURA 3.9	ALGUNS PARÂMETROS PARA A EQUAÇÃO DE COST-WI	52
FIGURA 3.10	DEFINIÇÃO DO ÂNGULO DE ORIENTAÇÃO DA RUA COM A ONDA INCIDENTE	52
FIGURA 3.11	PRINCÍPIO DE HUYGENS	56
FIGURA 3.12	ATENUAÇÃO EM dB PELO FATOR ν	57
FIGURA 3.13	DIFRAÇÃO POR GUME DE FACA	58
FIGURA 4.1	FOTO DE SATÉLITE DO GOOGLE STATIC MAPS COM RESOLUÇÃO DE 640X640 PIXELS E ZOOM 21	69
FIGURA 4.2	FOTO DE SATÉLITE DO GOOGLE STATIC MAPS COM RESOLUÇÃO DE 640X640 PIXELS E ZOOM 16 SEM ARRUAMENTO	71
FIGURA 4.3	FOTO DE SATÉLITE DO GOOGLE STATIC MAPS COM RESOLUÇÃO DE 640X640 PIXELS E ZOOM 16 COM ARRUAMENTO	72

FIGURA 4.4	MAPA ESQUEMÁTICO DE ARRUAMENTO DO GOOGLE STATIC MAPS COM RESOLUÇÃO DE 640X640 PIXELS E ZOOM 16 DA MESMA ÁREA DO MAPA ANTERIOR	74
FIGURA 4.5	EXEMPLO DE USO CONJUNTO DO GOOGLE STATICMAPS API COM GOOGLE ELEVATION API E GOOGLE CHART TOOLS	79
FIGURA 4.6	EXEMPLO DE USO CONJUNTO DO GOOGLE STATICMAPS API COM GOOGLE ELEVATION API DENTRO DA FERRAMENTA PRORAD....	80
FIGURA 4.10	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA SEPARAÇÃO ENTRE CLARO E ESCURO (“DARK GRAY-LEVELS”) COM (a) LÓGICA BINÁRIA (CRISP SET) E (b) LÓGICA FUZZY (FUZZY SET)	82
FIGURA 4.11	ESTRUTURA GERAL PARA PROCESSAMENTO DE IMAGEM FUZZY	83
FIGURA 5.1	PLANILHA DE CÁLCULOS PRELIMINARES – PRORADEN VERSÃO 1 – FASE I	88
FIGURA 5.2	INTERFACE GRÁFICA PRIMÁRIA – PRORADEN VERSÃO 2 – FASE II – (A) ENTRADA DE DADOS E (B) DADOS DE SAÍDA	89
FIGURA 5.3	INTERFACE GRÁFICA AVANÇADA – PRORAD VERSÃO 3 – FASE III	90
FIGURA 5.4	FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA USADA PARA OS TESTES ...	92
FIGURA 5.5	FLUXOGRAMA DO BLOCO DE PROCESSAMENTO DE MEDIDAS USANDO (a) PARÂMETROS GERAIS E (b) PARÂMETROS CALIBRADOS DOS MODELOS EM TESTE	93
FIGURA 5.6	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES IRRADIADORAS NO CENTRO DA CIDADE DE CURITIBA. ANTENAS M, J, C, G, H E O NA MESMA LOCALIDADE DOS IDENTIFICADORES (ID) DE SEU PAR ORDENADO 1, 5, 7, 9, E E I RESPECTIVAMENTE	95
FIGURA 5.7	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES IRRADIADORAS NA ÁREA EM ESTUDO. ANTENAS M, C, H E O NA MESMA LOCALIDADE DOS IDENTIFICADORES (ID) DE SEU PAR ORDENADO 1, 7, E E I RESPECTIVAMENTE	98
FIGURA 5.8	VALORES DE POTÊNCIA RECEBIDA AO LONGO DE UMA ROTA DE MEDIÇÕES DEFINIDA NA ÁREA DE INTERESSE PROVENIENTE DA BASE DE DADOS DA TIM	102
FIGURA 5.9	ÁREA DE INTERESSE	103
FIGURA 5.10	ÁREA DE INTERESSE COM REPRESENTAÇÃO DAS LOCALIDADES DAS ANTENAS	104

FIGURA 5.11	TOPOGRAFIA DA ÁREA DE INTERESSE COM ZOOM DE 15 CONTENDO AS ANTENAS DA ÁREA DE INTERESSE	105
FIGURA 5.12	TOPOGRAFIA DA ÁREA DE INTERESSE COM ZOOM DE 15 CONTENDO O PERCURSO DE MEDIÇÃO	106
FIGURA 5.13	MORFOLOGIA DA ÁREA DE INTERESSE COM ZOOM DE 16 CONTENDO OS LOCAIS DAS ANTENAS	107
FIGURA 5.14	DIREÇÕES NORTE (EIXO PRETO), AZIMUTE (EIXO LARANJA) E ABERTURA HORIZONTAL (EIXOS AZUIS) DA ANTENA NA ESTAÇÃO DE ID A	110
FIGURA 5.15	ÁREA EM VERDE REPRESENTANDO O PONTO MÁXIMO E MÍNIMO DE IRRADIAÇÃO DA ANTENA NA ESTAÇÃO DE ID A SEM LEVAR EM CONSIDERAÇÃO O AZIMUTE	111
FIGURA 5.16	ÁREA EM VERDE REPRESENTANDO O PONTO MÁXIMO E MÍNIMO DE IRRADIAÇÃO DA ANTENA NA ESTAÇÃO DE ID A NA DIREÇÃO DO AZIMUTE 240° DENTRO DO LIMITE DE ABERTURA HORIZONTAL DE 65° DESTA ANTENA	112
FIGURA 5.17	DADOS FILTRADOS PARA A ÁREA DE COBERTURA DA ANTENA NA ESTAÇÃO DE ID A	113
FIGURA 5.18	ÁREAS DE COBERTURA DE TODAS AS 10 ANTENAS DA ÁREA DE INTERESSE	115
FIGURA 5.19	FOTO DE SATÉLITE EXPLICITANDO ÁREAS DE COBERTURA E DADOS DE MEDIDAS NÃO COBERTOS PELAS ANTENAS DA ÁREA DE INTERESSE	116
FIGURA 5.20	DADOS FILTRADOS DE TODAS AS ANTENAS NA ÁREA DE INTERESSE	118
FIGURA 5.21	GRÁFICO DESVIO PADRÃO EM DECIBÉIS POR ERB	124
FIGURA 5.22	GRÁFICO DESVIO MÉDIO EM DECIBÉIS POR ERB	125

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	ASPECTOS GERAIS DE RÁDIO PROPAGAÇÃO PARA A FAIXA UHF .	26
TABELA 3.1	VALORES DE DECAIMENTO E PONTO DE INTERSEÇÃO DERIVADOS DE MEDIDAS REAIS.....	39
TABELA 3.2	FATOR DE AJUSTE DAS FREQUÊNCIAS (AF).....	40
TABELA 4.1	DADOS DE IMAGENS DE 640X640 PIXELS DO GOOGLE MAPS API.	70
TABELA 4.2	PARÂMETROS DE SOLICITAÇÃO DO GOOGLE GEOCODING API ...	76
TABELA 4.3	PARÂMETROS DE SOLICITAÇÃO DO GOOGLE ELEVATION API.....	78
TABELA 5.1	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS DAS ESTAÇÕES - PARÂMETROS GEOMÉTRICOS.....	96
TABELA 5.2	LOCALIDADES DA ÁREA DE INTERESSE	97
TABELA 5.3	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS DAS ESTAÇÕES - PARÂMETROS ELÉTRICOS.....	99
TABELA 5.4	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA IRRADIANTE DAS ESTAÇÕES - PARTE 1.....	99
TABELA 5.5	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA IRRADIANTE DAS ESTAÇÕES - PARTE 2.....	100
TABELA 5.6	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE POTÊNCIA DAS ESTAÇÕES.....	101
TABELA 5.7	PARÂMETROS GERAIS.....	119
TABELA 5.8	PARÂMETROS CALIBRADOS.....	121
TABELA 5.9	DESVIO PADRÃO DOS MODELOS SIMULADOS COM PARÂMETROS CALIBRADOS E FATORES DE CORREÇÃO.....	123
TABELA 5.10	DESVIO MÉDIO DOS MODELOS SIMULADOS COM PARÂMETROS CALIBRADOS E FATORES DE CORREÇÃO.....	124
TABELA 5.11	VALOR MÉDIO ABSOLUTO DOS MODELOS SIMULADOS COM PARÂMETROS CALIBRADOS E FATORES DE CORREÇÃO PARA OS DESVIOS PADRÃO E MÉDIO.....	126

LISTA DE SIGLAS

ANATEL	- Agência Nacional de Telecomunicações
API	- <i>Application Programming Interface</i>
CCI	- Centro Comercial Itália
COST	- <i>European Cooperation in Science and Technology</i>
COST-WI	- Modelo COST-Walfisch-Ikegami
ERA	- <i>European Research Area</i>
ERB	- Estação rádio base
Ex	- Exemplo
FIP	- <i>Fuzzy Image Processing</i> – Processamento de imagem Fuzzy
GSM	- <i>Global System Mobile</i>
HTTP	- Protocolo de Transferência de Hipertexto
IA	- Inteligência artificial
ID	- Identificador
ITU	- <i>International Telecommunication Union</i>
JSON	- <i>JavaScript Object Notation</i> - Formato em linguagem de programação javascript de descrição de objetos
MatLab	- <i>Matrix Laboratory</i>
O	- Oeste
PCS	- <i>Personal Communication Systems</i>
PGMU	- Plano Geral de Metas Universais
PNG	- <i>Portable Network Graphics</i> - Formato livre de dados utilizado para imagens com alta compressão e sem perda de qualidade
PRORAD	- Programa de Projetos de Rádio Enlace
PRORADEN	- Projetos de Rádio Enlace - Primeiro nome dado ao projeto PRORAD
PRORADENv1	- Planilha de cálculos para Projeto de Rádio Enlace versão 1
S	- Sul
TIFF	- <i>Tagged Image File Format</i> - Formato de alta resolução e definição de cores para imagens digitais
TIM	- <i>Telecom Italia Mobile</i>
TV	- Televisão
UHF	- <i>Ultra High Frequency</i>

- URL - Localizador-Padrão de Recursos
- Unicamp - Universidade Estadual de Campinas
- XML - *Extensible Markup Language* - Linguagem de marcação padronizada a fim de facilitar o compartilhamento de informações através da internet
- ccTLD - *Contry code top-level domain* - Código de região usado na internet
- p - Página

LISTA DE SÍMBOLOS

$a(h_{re})$	- Fator de correção da altura efetiva da antena receptora da unidade móvel a qual é obtida em função do tamanho da área de cobertura [dB]
b	- Distância entre prédios ao longo do percurso da onda eletromagnética [m]
c	- Velocidade da luz no vácuo: $[2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}]$
\bar{d}	- Desvio médio
d	- Distância entre a estação rádio base e a receptora móvel [km]
dB	- Decibel - Unidade de medida logarítmica adimensional
dB/década	- Decibéis por década - Unidade de incremento em medida logarítmica adimensional
dBd	- Decibéis dipolo - Unidade de medida logarítmica adimensional com relação ao ganho de uma antena dipolo de meia onda
dBm	- Decibéis com referência a 1 miliwatt (10^{-3}W) - Unidade de medida logarítmica adimensional para expressar relação sinal/ruído de uma rádio propagação
d_1	- Distância da estação - base ao obstáculo em lâmina [m]
d_2	- Distância do obstáculo em lâmina ao móvel [m]
dpi	- <i>Dots per inch</i> – Pontos por polegada
f	- Frequência de onda
h	- altura da obstrução acima ou abaixo do raio direto [m]
h_1	- Altura real da antena da estação base [m]
h_{1p}	- Altura padrão da antena da estação base [m]
h_2	- Altura da antena do móvel [m]
h_{2p}	- Altura da antena padrão do móvel [m]
h_b	- Altura da antena da estação transmissora [m]
h_e	- Altura efetiva da antena da estação base [m]
h_m	- Altura da antena da estação móvel [m]
h_{re}	- Altura efetiva da antena móvel receptora [m]
h_t	- Altura dos telhados dos prédios ao solo [m]
h_{te}	- Altura efetiva da antena base transmissora [m]
km	- Quilômetros = 10^3m - Medida de distância

km^2	- Quilômetros quadrados - Unidade de área
m	- Metros - Unidade de distância
m/s	- Metros por segundo - Unidade de velocidade
n	- Número de elementos da dispersão
r	- Distância entre a estação base e o móvel [km]
r_0	- Distância entre a estação base e o ponto de interseção [km]
r_{1m}	- Menor raio do primeiro elipsoide de Fresnel [m]
s	- Desvio padrão
v	- Variável adimensional de correlação entre a onda e as distâncias do obstáculo com as antenas
w	- Largura das ruas [m]
\bar{x}	- Média aritmética simples da dispersão
x_i	- Valor do elemento i da dispersão
$A(f, d)$	- Valor em [dB] encontrado em curvas empíricas, dependente da frequência e da distância entre a estação rádio base e a receptora móvel
A_f	- Fator de ajuste da frequência [dB]
Az_A	- Azimute em um determinado ponto A em relação a um ponto B. O ponto A deve ter sua longitude menor que a do ponto B [graus]
Az_B	- Azimute em um determinado ponto B em relação a um ponto A. O ponto B deve ter sua longitude maior que a do ponto A [graus]
$C(v)$	- Integral de Fresnel
D	- Distância ortodrômica entre dois pontos dada em quilômetros [km]
D_{GF}	- Difração por gume de faca
$G(\text{area})$	- Valor em [dB] encontrado em curvas empíricas. Expressa o ganho gerado devido ao ambiente em que o sistema está operando
$G(h_{re})$	- Fator de ganho da estação móvel receptora [dB]
$G(h_{te})$	- Fator de ganho da estação base transmissora [dB]
GB	- Giga Byte

G_{effh}	- Ganho devido à altura efetiva da antena [dB]
G_m	- Ganho da antena do móvel [dBd]
G_{mp}	- Ganho padrão da antena do móvel [dBd]
G_r	- Ganho da antena da estação base [dBd]
G_{rp}	- Ganho padrão da antena da estação base [dBd]
K_a	- Fator de correção devido à diferença de altura entre a antena transmissora e o semiplano de incidência próximo à antena receptora [dB]
K_d	- Fator de correção da dependência de L_{ms} com relação à distância d
K_f	- Fator de correção da dependência de L_{ms} com relação à frequência f
$L(v)$	- Perdas por difração no terreno - perdas por sombreamento [dB]
L_0	- Perda de propagação no espaço livre [dB]
$L_{COST-WI}$	- Atenuação total para o modelo de COST-WI [dB]
L_{Hr}	- Valor médio da perda devido ao caminho de propagação no modelo Hata para áreas rurais abertas em [dB]
L_{Hs}	- Valor médio da perda devido ao caminho de propagação no modelo Hata para áreas suburbanas em [dB]
L_{Hu}	- Valor médio da perda devido ao caminho de propagação no modelo Hata para áreas urbanas em [dB]
$L_{Okumura}$	- Valor médio de perdas devido ao caminho de propagação pelo modelo de Okumura [dB]
L_{bsh}	- Perda devido à diferença de altura entre a antena transmissora e o semiplano de incidência próximo a antena receptora [dB]
L_{ms}	- Perda devido a múltiplas difrações e reflexões ocorridas ao nível da rua ou multiplanos [dB]
L_{ori}	- Fator de correção devido à orientação da rua em função do ângulo de incidência φ [dB]
L_{rts}	- <i>Loss at roof-top-to-street diffraction and scatter</i> – Perda por difração e espalhamento no topo dos edifícios [dB]
L_{sts}	- Perda por difração nas laterais dos obstáculos – <i>sides-to-street diffraction Loss</i>

<i>Lat1</i>	- Latitude em decimal em um determinado ponto 1 dado em graus
<i>Lat2</i>	- Latitude em decimal em um determinado ponto 2 dado em graus
<i>LatA</i>	- Latitude em decimal do ponto A cuja longitude é menor que a do ponto B [graus]
<i>LatB</i>	- Latitude em decimal do ponto B cuja longitude é maior que a do ponto A [graus]
<i>Long1</i>	- Longitude em decimal em um determinado ponto 1 dado em graus
<i>Long2</i>	- Longitude em decimal em um determinado ponto 2 dado em graus
<i>LongA</i>	- Longitude em decimal do ponto A cujo valor é menor que o do ponto B [graus]
<i>LongB</i>	- Longitude em decimal do ponto B cujo valor é maior que o do ponto A [graus]
MB	- Mega Byte
MHz	- Mega Hertz = 10^6 Hz - Unidade de frequência
P_0	- Potência de recepção no ponto de interseção [dBm]
P_{Rx}	- Potência no receptor para modelo PATRIOTA84 [dBm]
P_r	- Potência de recepção [dBm]
P_t	- Potência de emissão da estação base [W]
P_{tp}	- Potência de emissão padrão da estação base [W]
R_1	- Ponto de Reflexão Especular
R_2	- Ponto de Reflexão Difuso
R_x	- Recepção; Local ou antena de recepção; Receptor
$S(V)$	- Integral de Fresnel
T_x	- Transmissão; Local ou antena de transmissão; Transmissor
α	- Alfa - Fator de ajuste do sinal
γ	- Gamma - Decaimento da atenuação de propagação ou fator de rugosidade do terreno[dB/década]
λ	- Lambda - Comprimento de onda [m]
φ	- Fi – Ângulo de incidência da onda com relação ao eixo de orientação da rua [graus]

- Δ - Delta - Distância ortodrômica dada em graus
- Δh_b - Diferença entre as alturas h_b e h_t ($\Delta h_b = h_b - h_t$) [m]
- Δh_m - Diferença entre a altura dos telhados dos prédios (h_t) e a altura da antena da estação móvel (h_m) [m]
- \forall - Para todo
- \in - Símbolo matemático de pertinência a um determinado conjunto
- \mathbb{R}^+ - Conjunto matemático dos números reais positivos
- ® - Marca registrada
- | - Símbolo matemático “tal que”

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	21
1.1 MOTIVAÇÃO	21
1.2 JUSTIFICATIVA	22
1.3 OBJETIVO	23
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	23
REFERÊNCIAS	25
CAPÍTULO 2 CONCEITOS BÁSICOS EM PROJETOS DE RF	26
2.1 INTRODUÇÃO	26
2.2 MODELAGEM	29
2.3 BASE DE DADOS	31
2.4 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	33
CAPÍTULO 3 MODELOS DE PROPAGAÇÃO	34
3.1 INTRODUÇÃO	34
3.2 MODELOS DE PROPAGAÇÃO	35
3.2.1 MODELO DE LEE	36
3.2.2 MODELO DE OKUMURA	45
3.2.3 MODELO HATA	46
3.2.4 MODELOS DE COST 231	47
3.2.5 MODELO DE PATRIOTA84	55
3.3 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	63
CAPÍTULO 4 BASE DE DADOS	65
4.1 INTRODUÇÃO	65
4.2 GOOGLE MAPS API	65
4.2.1 GOOGLE STATIC MAPS API	67
4.2.2 GOOGLE MAPS API SERVIÇOS DA WEB	74
4.3 CRIAÇÃO DA BASE DE DADOS GEORREFERENCIADA	80
4.3.1 IA APLICADA AO GOOGLE MAPS API	81
4.4 CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS	85
CAPÍTULO 5 TESTES E VALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	86
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	86

5.1.1 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	86
5.2 INTRODUÇÃO AOS TESTES	91
5.3 PROCEDIMENTO ADOTADO	91
5.4 BASE DE DADOS DE TESTE	94
5.4.1 BLOCO 01 - ÁREA DE INTERESSE	102
5.4.2 BLOCO 02 - TOPOGRAFIA	104
5.4.3 BLOCO 03 - MORFOLOGIA	106
5.4.4 BLOCOS 04 E 05 - CARACTERIZAÇÃO DAS ANTENAS	108
5.4.5 BLOCOS 06 E 07 - BASE DE DADOS DE RECEPÇÃO	108
5.4.6 BLOCO 08 - ARQUIVOS TEXTO COM BASE DE DADOS	108
5.4.7 BLOCOS 09, 10 E 11 - CRIAÇÃO DAS ESTAÇÕES E DEFINIÇÃO DOS MO- DELOS	109
5.4.8 BLOCO 12 - FILTRAGEM DAS MEDIDAS	109
5.4.9 BLOCOS 13 E 14 - INSERÇÃO DOS ARQUIVOS DE MEDIDAS FILTRADOS .	116
5.4.10 BLOCO 15 - GERAÇÃO DOS ARQUIVOS PARA SIMULAÇÃO COM MEDIDAS	117
5.4.11 BLOCOS 16, 17, 18, 19 E 20 - PROCESSAMENTO DAS MEDIDAS COM PARÂMETROS GERAIS DOS MODELOS	118
5.4.12 BLOCO 21, 22 E 23 - CALIBRAÇÃO DOS MODELOS COM ARQUIVOS LOG E OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS CALIBRADOS	120
5.4.13 BLOCO 24, 25, 26 E 27 - PROCESSAMENTO DAS MEDIDAS COM PARÂ- METROS CALIBRADOS DOS MODELOS	120
5.4.14 BLOCO 28 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	121
5.4.15 BLOCO 29 - AVALIAÇÃO DOS MODELOS	122
5.5 ANÁLISE DE RESULTADOS	122
5.6 CONCLUSÃO	126
REFERÊNCIAS	128
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES.....	129
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
6.2 CONTRIBUIÇÕES	129
6.3 PRÓXIMOS PASSOS DO PROJETO PRORAD	130
6.4 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	130
REFERÊNCIAS GERAL.....	132

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

Em 1957, quando o primeiro enlace analógico brasileiro de telefonia fixa viu a luz do dia, realizando uma ligação entre São Paulo e Rio de Janeiro, projetos de rádio enlace não podiam contar com a facilidade tecnológica que temos hoje e nem com a possibilidade de modelar o comportamento da onda eletromagnética se propagando em um meio real. (SIQUEIRA, 1997)

Mais de meio século se passou e muito se desenvolveu nesta área, principalmente no que diz respeito a modelos de propagação e ferramentas computacionais para suas aplicações em modelagem do comportamento das ondas eletromagnéticas.

O uso destas ferramentas permite a redução no custo de implantação de um rádio enlace e ainda reduz o tempo de projeto consideravelmente. Entretanto, ainda em cidades como Curitiba, na qual a rede de telefonia móvel já está exaustivamente testada e consolidada, existem zonas de sombreamento no centro da cidade.

Muitos dos modelos de propagação hoje utilizados foram desenvolvidos empiricamente com dados de cidades como Tokyo (Modelo Okumura-Hata, Lee e derivados destes) ou cidades europeias, como é o caso do modelo COST 231. Como a base de um estudo científico é empírica (VOLPATO, 2006), (VOLPATO, 2007a), (VOLPATO, 2007b) e (VOLPATO, 2008), as bases de dados utilizadas para a criação dos modelos existentes são de cidades com características diferentes de Curitiba, o que justifica a existência de áreas de sombra na cidade em foco.

Neste estudo, pretende-se apresentar uma formulação que supra as deficiências existentes nos modelos atuais, para posterior inclusão dessa contribuição em um software livre de rádio enlace com base de dados gratuita.

1.1 MOTIVAÇÃO

A cidade de Curitiba abriga mais de 1.8 milhões de habitantes e segundo dados da AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL)(2011) referentes ao ano de 2010, Curitiba está entre as dez cidades com maior número de acessos de telefonia móvel para cada 100 habitantes do Brasil, com 122,06 acessos para cada 100 habitantes, utilizando as faixas de frequência de 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz e 2100 MHz (TELECO, 2010), sendo a grande maioria dos acessos na faixa de 1800 MHz, o que gera uma enorme sobre utilização do espectro em questão.

Tamanha quantidade de acessos demanda uma rede confiável e com o mínimo

possível de zonas sem serviço (zonas de sombreamento), bem como custos baixos de implantação e remanejamento de equipamentos. Para que seja possível a redução das zonas de sombreamento, uma nova ferramenta melhor adequada devera ser utilizada para prever com mais precisão os locais a serem melhor cobertos com sinal de rádio frequência.

Sendo a região em estudo uma área já coberta por sinal de rádio e sua base de dados de propagação já existente, torna-se desnecessário a execução de testes de campo em larga escala, mais onerosos para empresas de telecomunicações, e o uso de modelos de propagação para este fim mostra-se uma solução mais viável. Deste modo, a formulação de um modelo específico para a cidade de Curitiba através da união de diversas contribuições anteriormente dadas a este assunto conjuntamente com a apresentada neste projeto nada mais é do que a evolução natural do conhecimento para melhoria do desempenho em projetos de telecomunicações na região.

1.2 JUSTIFICATIVA

Curitiba, com um grande número de consumidores do serviço de comunicação móvel e uma teledensidade de 122,06, ainda apresenta zonas de sombreamento de sinal no centro da cidade.

Tal problema se dá pela falta de um modelo de propagação adaptado para a zona central da cidade e como nesta área, entre 8h e 18h nos dias de semana ocorre a maior demanda por canal, com zonas sem sinal, as operadoras perdem uma quantia grande de receita por falta de planejamento adequado nos projetos de radio enlace.

Sendo a cidade de Curitiba uma das dez cidades brasileiras mais densas na utilização de telefonia móvel, zonas de sombreamento nas áreas de maior interesse comercial são inaceitáveis. Tais zonas de sombreamento vão de encontro aos princípios e normas de telecomunicações brasileiro (ANATEL, 2000), bem como ao novo Plano Geral de Metas Universais (PGMU) (BRASIL, 2003) aprovado em 2008 pelo Decreto nº 6.424 (BRASIL, 2008).

Os referidos princípios e normas de telecomunicações referem-se à obrigatoriedade de uma rede de telecomunicações ter acessibilidade plena¹.

Interpretando-se o aparelho celular como parte do sistema telefônico devido ao seu papel de codificador/decodificador, o usuário com um celular sem sinal representa uma falha na acessibilidade plena. Sendo assim, zonas de sombreamento não são mais aceitáveis para regiões com uma densidade telefônica tão grande como Curitiba.

¹ Define-se sistema de telecomunicações com acessibilidade plena aquele em que todos os acessos (terminais) têm a possibilidade de se interconectar com qualquer outro (não ao mesmo tempo). (ANATEL, 1998)

1.3 OBJETIVO

O trabalho na solução da situação apresentada acima passa pelo uso de um sistema melhor adaptado para simular a propagação de ondas eletromagnéticas no centro da cidade de Curitiba.

Para tal sistema existir, diversos trabalhos científicos apresentaram dados e deram suas contribuições e com este trabalho acredita-se que a contribuição final será encontrada e por fim incluída em uma ferramenta computacional gratuita em desenvolvimento no Laboratório de Telecomunicações da Universidade Federal do Paraná, o programa de Projetos de Rádio Enlace (PRORAD).

Através da compilação destes diversos estudos realizados na área de UHF (*Ultra High Frequency*), principalmente nas frequências entre 850 MHz e 1800 MHz, específicos para a região de Curitiba, em uma única formulação, espera-se encontrar um sistema de modelo de propagação que possa minimizar as zonas de sombreamento hoje existentes.

Tal sistema deve levar em consideração atenuação do sinal devido aos tipos de construções e morfologias de Curitiba, bem como a altura dos prédios, as distâncias entre edificações, arruamento, difração no topo e lateral dos edifícios, entre outras características e não apenas manchas morfológicas apresentado por alguns modelos, tal como o modelo de Lee.

Portanto, um sistema de predição ou modelo de propagação desenvolvido especialmente para a cidade de Curitiba é o objetivo deste trabalho de pesquisa, a fim de suprir as deficiências dos modelos atuais com maior complexidade e com parâmetros especialmente modelados para a cidade em foco. Ainda como parte dos objetivos, enquadra-se o desenvolvimento da base de dados para utilização do modelo de propagação proposto bem como sua inclusão no programa PRORAD.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para melhor compreensão textual, esta dissertação foi dividida em capítulos. A mesma inicia com conceitos básicos e finaliza com as análises de resultados, conclusões e propostas para trabalhos futuros.

Esta dissertação foi assim estruturada:

O CAPÍTULO 2 aborda conceitos básicos de rádio propagação para o entendimento dos capítulos seguintes.

O CAPÍTULO 3 apresenta os modelos de propagação clássicos mais utilizados,

bem como apresenta uma releitura dos efeitos de propagação em uma nova formulação para a modelagem de rádio propagação.

O CAPÍTULO 4 introduz o conceito de base de dados do ambiente no qual a onda se propaga com por exemplo, informações sobre a geografia e morfologia da região em estudo. Neste capítulo, o processo de geração desta base de dados através de ferramentas gratuitas da internet, como o Google Maps API, é apresentado.

No CAPÍTULO 5 a contribuição aos modelos apresentada é posta à prova e os resultados são comparados com os demais modelos. É descrito o procedimento adotado para os testes e os resultados para a validação da formulação proposta são apresentados.

O CAPÍTULO 6 apresenta as considerações finais desta dissertação sobre os testes, a base de dados desenvolvida e a formulação proposta. Apresenta ainda as contribuições alcançadas com esta dissertação e também algumas propostas para trabalhos futuros com base nos desenvolvimentos aqui apresentados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). Telecomunicações. In: _____. **ANATEL: Glossário**. 1998. Disponível em: <http://www.abrafix.org.br/admin/imagens/upload/dados_setor_arquivos/glossario.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). Anatel divulga regulamentos, planos, normas e edital do serviço móvel pessoal. In: _____. **ANATEL: Assessoria de Imprensa**. Brasília, DF: Assessoria Parlamentar e de Comunicação Social (APC), 2000. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=16097&assuntoPublicacao=Anatel%20divulga%20regulamentos,%20planos,%20normas%20e%20edital%20do%20Servi%E7o%20M%F3vel%20Pessoal&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=biblioteca/releases/2000/release_29_09_2000.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). Brasil fecha 2010 com 202,9 milhões de celulares. In: _____. **ANATEL: Mais notícias**. 2011. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNoticias.do?acao=carregaNoticia&codigo=21875>>. Acesso em: 20 fev. 2011.
- BRASIL. Casa Civil. Decreto nº 4.769 de 27 de junho de 2003. Aprova o Plano Geral de Metas para a Universalização do Serviço Telefônico Fixo Comutado Prestado no Regime Público - PGMU, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, jun. 2003. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/D4769.htm>.
- BRASIL. Casa Civil. Decreto nº 6.424 de 4 de abril de 2008. Altera e acresce dispositivos ao Anexo do Decreto nº 4.769, de 27 de junho de 2003, que aprova o Plano Geral de Metas para a Universalização do Serviço Telefônico Fixo Comutado prestado no Regime Público - PGMU. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, abr. 2008. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6424.htm#art4>.
- SIQUEIRA, E. **Três momentos da história das telecomunicações no Brasil**. São Paulo, SP: Dezembro Editorial, 1997. 108 p.
- TELECO. Bandas. In: _____. **Telefonia Celular**. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/Bandac.asp>>. Acesso em: 02 fev. 2011.
- VOLPATO, G. L. **Dicas para redação científica: por que não somos citados**. 2. ed. [S.l.]: Gilson Luiz Volpato, Botucatu, 2006.
- VOLPATO, G. L. **Bases teóricas para redação científica: por que seu artigo foi negado**. [S.l.]: Gilson Luiz Volpato, São Paulo, 2007.
- VOLPATO, G. L. **Ciência: da filosofia à publicação**. 5. ed. [S.l.]: Gilson Luiz Volpato, São Paulo, 2007.
- VOLPATO, G. L. **Publicação científica**. 3. ed. [S.l.]: Gilson Luiz Volpato, São Paulo, 2008.

CAPÍTULO 2 CONCEITOS BÁSICOS EM PROJETOS DE RF

2.1 INTRODUÇÃO

Projetos de rádio propagação ou RF consistem em criar uma conexão entre dois ou mais pontos para transmissão de informações sem a utilização de cabeamento entre eles. Para tanta, é necessário definir as características desta conexão, como a faixa de frequência, os locais das antenas transmissoras e receptoras, os codificadores, suas potências de transmissão e locais de recepção possíveis, o tipo de informação a ser transmitida, dentre outros parâmetros não menos importantes.

Como esta dissertação abrange apenas a faixa de frequências de comunicação móvel celular, este capítulo explanará principalmente os aspectos para frequências entre 900 MHz e 1800 MHz.

Nesta faixa de frequências, o modo de propagação se dá por ondas terrestres, ou seja, ondas que se propagam através da superfície terrestre, na qual as principais componentes da onda recebida são as ondas diretas e refletidas no solo. Existem também as ondas que sofrem espalhamento, difrações e refrações por obstáculos no trajeto, que se somam as duas componentes citadas anteriormente. (SILVA; BARRADAS, 1978)

Além do modo de propagação em ondas terrestre, ainda existem ondas ionosféricas e ondas troposféricas. Na TABELA 2.1 pode-se encontrar a faixa de frequência em foco nesta dissertação (UHF), suas principais características e alguns exemplos de aplicações.

TABELA 2.1 – ASPECTOS GERAIS DE RÁDIO PROPAGAÇÃO PARA A FAIXA UHF

Frequências	Mecanismos de propagação	Efeitos da atmosfera e do terreno	Aspectos de sistema	Tipos de serviço
UHF (300 - 3000 MHz)	Propagação em visibilidade; difração; tropodifusão. (ondas espaciais)	Efeitos de refração; multipercursos e dutos (faixa alta); difração e obstrução pelo relevo	Antenas Yagi (dipolos múltiplos), helicoidais e de abertura; sistemas de média e alta capacidade	Fixo terrestre; radar móvel terrestre e por satélite; rádio-difusão e televisão (TV); celular e sistemas de comunicação pessoal PCS

FONTE: PEREIRA (2007, p. 4)

Para o cálculo de um projeto de rádio enlace, alguns parâmetros básicos são ne-

cessários. Informações sobre a faixa de frequência desejada, tipo de serviço e locais pretendidos para as antenas transmissoras e receptoras são o ponto de partida para o projeto. Em RIBEIRO (2004) pode-se encontrar de forma prática os conceitos para propagação em espaço livre, bem como em SALEMA (2002, p. 23–130), HALL, BARCLAY e HEWITT (1996) e BOSCO (2002).

A partir das informações de latitude e longitude das antenas e frequência, pode-se calcular a distância entre os pontos (equações (2.1) e (2.2)), os azimutes (equações (2.3) e (2.4)) das antenas, o comprimento de onda (equação (2.5)) e até mesmo as dimensões da primeira zona de Fresnel (equação (2.6)) do enlace. Tais cálculos constituem os cálculos geométricos do enlace.

Inicialmente, é calculado a distancia entre as antenas em questão e para tal, calcula-se o Δ , que é a distância ortodrômica dada em graus.

O cálculo de Δ é apresentado na equação 2.1 e é dependente das posições geográficas, também em graus, das antenas nos pontos 1 e 2, que são representadas pelas variáveis $Lat1$ (Latitude em decimal da antena 1 em graus), $Lat2$ (Latitude em decimal da antena 2 em graus), $Long1$ (Longitude em decimal da antena 1 em graus) e $Long2$ (Longitude em decimal da antena 2 em graus).

$$\Delta = \arccos [\sin(Lat1) \sin(Lat2) + \cos(Lat1) \cos(Lat2) \cos(Long1 - Long2)] \quad (2.1)$$

À partir do valor de Δ , é possível calcular a distância entre as antenas de forma mais compreensível, convertendo o valor dado em graus para quilômetros, unidade de distância mais usada. Esta conversão é feita seguindo a equação 2.2, na qual D é o valor da distância expresso em quilômetros. Esta conversão é possível pois é sabido que cada grau geográfico é equivalente a aproximadamente 111,2 km.

$$D = 111,2 \cdot \Delta \quad (2.2)$$

Com o dado da distância entre antenas e suas respectivas localizações geográficas, é possível calcular qual o ângulo com relação ao norte geográfico cada uma das antenas deverá apontar para que fiquem uma de frente para a outra. Este cálculo denomina-se cálculo do azimute.

A título de padronização de equações, o cálculo de azimute deve ser feito primeiramente para a antena de menor longitude, ou seja, a que está mais a oeste. Esta antena fica então denominada de ponto A e a outra antena (mais a leste) de ponto B.

É dado ao azimute do ponto A a variável Az_A , que representa o azimute do ponto

A (Ponto de menor longitude) dado em graus e conseqüentemente, as coordenadas geográficas deste ponto também passam a ser $LatA$ (dado em graus) e $LongA$ (dado em graus).

Analogamente, o azimute do ponto mais a leste (ponto B) é representado pela variável Az_B (dado em graus) e suas posições geográficas passam a ser $LatB$ e $LongB$, ambos expressos em graus.

As equações 2.3 e 2.4 apresentam os cálculos do azimute para os pontos explicados acima.

$$Az_A = \arccos \left(\frac{\sin(LatB) - \cos(\Delta) \sin(LatA)}{\sin(\Delta) \cos(LatA)} \right) \quad (2.3)$$

$$Az_B = 360 - \arccos \left(\frac{\sin(LatA) - \cos(\Delta) \sin(LatB)}{\sin(\Delta) \cos(LatB)} \right) \quad (2.4)$$

Para que o rádio enlace seja calculado, é preciso saber qual a faixa de frequência f a ser transmitida no mesmo. À partir desta frequência, pode-se calcular o comprimento de onda λ dado em metros (m) ao se dividir a velocidade de propagação da onda c em metros por segundo (m/s) pela sua frequência f em Hz, como mostra a equação 2.5.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.5)$$

De posse das informações do comprimento de onda λ em metros e distância ortodrômica D em quilômetros, é possível encontrar a área na qual a maior parte da potência irradiada pelas antenas se encontra. Esta área é chamada de primeira zona de Fresnel.

Define-se como a área da primeira zona de Fresnel o corte transversal em um elipsoide. A zona obtida por este corte transversal é uma elipse cujos centros são as antenas, como mostrado na FIGURA 2.1.



FIGURA 2.1 – REPRESENTAÇÃO DA PRIMEIRA ZONA DE FRESNEL

FONTE: Franklin (2010)

Sendo o raio maior muito maior do que o raio menor, pode-se aproximar o raio maior como sendo a distância D entre as antenas e o raio menor (r_{1m}) pode então ser calculado em metros como se segue na equação 2.6.

$$r_{1m} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot D \cdot 1000}{4}} \quad (2.6)$$

Após os cálculos geométricos do enlace, é necessária a definição de um modelo de propagação que supra as necessidades do projeto e contemple as características específicas envolvendo a faixa de frequências usada, o tipo de terreno no qual se encontram as antenas e o ambiente no qual o sistema funcionará.

Para que todos os aspectos físicos do projeto sejam abrangidos, a utilização de um programa computacional para projeto e simulação de rádio enlace é indispensável para minimização dos custos do projeto e esta ferramenta deve conter a modelagem do ambiente no qual o enlace será criado.

2.2 MODELAGEM

Após uma análise preliminar dos aspectos do rádio enlace pretendido, passa-se a uma etapa de simulação de propagação da onda eletromagnética imersa no ambiente pretendido. Para que esta simulação seja possível, é necessário modelar o ambiente em questão para que, de forma matemática, possa-se determinar qual a perda de potência ocorre em determinado trecho do percurso da onda.

De forma geral, os modelos utilizam as perdas de potencia por propagação em espaço livre (L_0) em decibéis dada pela equação 2.7, a qual associa a distância entre transmissor e receptor (d) em metros e a frequência (f) em Hz com a velocidade de pro-

pagação da onda no vácuo ($c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s).

$$L_0 = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0 f}{c} \right) \quad (2.7)$$

Tendo em vista que o valor de c é conhecido, que as distâncias entre antenas normalmente são da ordem de quilômetros e que as frequências utilizadas nesta dissertação estão na faixa de UHF e são melhor representadas em GHz, a equação 2.7 pode ser reescrita como mostra a equação 2.8.

$$L_0 = 92,44 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (2.8)$$

Somado a outras perdas por efeitos de propagação como os mostrados na figura 2.2, a perda de propagação em espaço livre está presente em diversos modelos e os cálculos de perdas totais no percurso são feitos de acordo com as técnicas estatísticas ou empíricas e efeitos de propagação modelados por cada um.

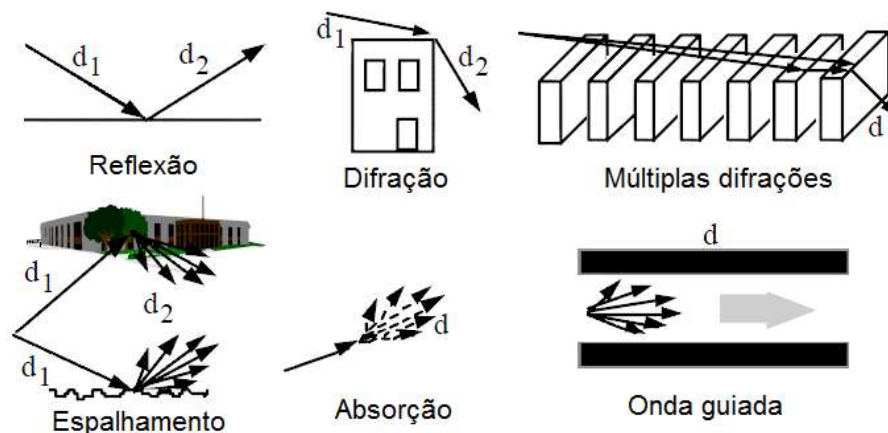


FIGURA 2.2 – EFEITOS DE PROPAGAÇÃO DE ONDA

FONTE: CICHON e KÜENER (1993, p. 133) TRADUZIDO PELO AUTOR

O equacionamento das perdas no percurso por diversos efeitos geram os modelos de propagação que são utilizados atualmente para previsão com baixo custo operacional de como a onda eletromagnética se comportará no ambiente. Alguns dos modelos mais utilizados são Lee, Okumura, Hata, COST-231-Walfisch-Ikegami, entre outros.

Genericamente, os modelos de propagação calculam a perda de potência por unidade de distância percorrida pela onda entretanto, modelos simples se utilizam de valores médios para grandes áreas ("manchas morfológicas") classificando cada área por tipo de terreno, como urbano ou rural e outros modelos, mais precisos utilizam dados mais complexos do ambiente, como presença de árvores, altura de edifícios, distância entre edifícios,

largura de ruas, entre outros.

Cada tipo de modelo tem sua função, como para ambientes internos ou externos à edificações, e cada um deles tem sua precisão, benefícios e defeitos. Por existirem inúmeros modelos, não é possível se determinar sempre qual é o melhor modelo a se utilizar para cada situação sem a realização de testes.

Como a maioria dos modelos de propagação foram criados para uso geral, casos muito específicos acabam por não serem contemplados da melhor forma possível e por este motivo, a criação de modelos de propagação específicos para uma determinada área são um ótimo recurso para determinação de perda de sinal em locais mais críticos, como é o caso da área em estudo nesta dissertação.

Para a criação e utilização de modelos de propagação, informações sobre a área no qual o enlace estará inserido são de suma importância. Estas informações são as chamadas base de dados da região.

2.3 BASE DE DADOS

Para que um modelo de propagação possa realizar os cálculos de perdas por unidade de distância percorrida pela onda, dados sobre o ambiente são necessários, como mencionado anteriormente. Estes dados recebem o nome de base de dados da região, a qual contém informações relativas à geografia do local, com dados georeferenciados (com posicionamento em latitude e longitude) de altitude do terreno e também a respeito da morfologia do ambiente.

A morfologia do ambiente se refere ao tipo de cobertura da região, se existem prédios ou casas, lagos ou árvores e assim por diante. Os dados morfológicos podem ser apresentados como uma média da região por grandes áreas e classificados em rural, urbano, entre outros, ou ainda apresentar dados específicos sobre elementos encontrados no local, como explicado anteriormente.

A base de dados de uma região é de crucial importância para o funcionamento de uma simulação por modelos de propagação e cada modelo tem uma base de dados específica para realizar corretamente os cálculos de perdas de potência de sinal.

2.4 CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou alguns conceitos básicos em projetos de rádio enlace para fins de entendimento dos capítulos que se seguirão.

Foi possível compreender que em um projeto de telecomunicações, muitos detalhes e parâmetros devem ser levados em consideração a fim de se realizar um bom trabalho com baixo custo de implantação e operação, bem como pode-se compreender como ferramentas melhor adaptadas resultam em uma melhor precisão nos dados, melhorando o custo benefício do projeto.

Sabendo-se que um engenheiro deve sempre procurar fornecer o melhor custo benefício em seus projetos, o uso de ferramentas computacionais agilizam o processo e minimizam os custos. Para o caso de projetos de RF, tais ferramentas maximizam o uso das faixas de frequência ao prever possíveis interferências e apresentam uma melhor distribuição dos recursos de transmissão no ambiente o qual o projeto será inserido. Desta forma, modelos de propagação mais adaptados à região referente ao projeto de RF são cada vez mais usados por profissionais de telecomunicações.

REFERÊNCIAS

- BOSCO, L. Communication concepts: Circuit designer perspective. In: _____. **VLSI for Wireless Communication**. 1^a. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2002. p. 15–38.
- CICHON, D. J.; KÜENER, T. Propagation prediction models. In: _____. **Digital mobile radio towards future generation systems: COST 231 Final Report**. Office for Official Publications of the European Communities, 1993. cap. 4, p. 115–208. ISBN 92-828-5416-7. Disponível em: <<http://www.lx.it.pt/cost231/>>. Acesso em: 04 mai. 2010.
- FRANKLIN. **Estudio de la Zona Fresnel en las Comunicaciones Inalambricas**. dez. 2010. Disponível em: <<http://xentron.blogspot.com/2010/12/estudio-de-la-zona-fresnel-en-las.html>>. Acesso em: 4 de abr. 2011.
- HALL, M. P. M.; BARCLAY, L. W.; HEWITT, M. T. In: _____. **Propagation of Radiowaves**. 1^a. ed. [S.l.]: British Library, 1996. p. 9–22, 38–58 e 60–102.
- PEREIRA, M. A. B. **Análise de Modelos de Propagação na Área Urbana da Região de Curitiba - PR na Faixa de Frequência de 1800 MHz**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Agosto 2007.
- RIBEIRO, J. A. J. Propagação em Espaço Livre. In: _____. **Propagação de Ondas Eletromagnéticas: Princípios e Aplicações**. 1^a. ed. [S.l.]: Érica, 2004. p. 163–204 e 241–270. ISBN 857194993x.
- SALEMA, C. Feixes hertzianos. In: IST Press (Ed.). **Ensino da Ciência e da Tecnologia**. 2^a. ed. Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico, 2002. v. 4, p. 23–540. ISBN 972-8469-21-7.
- SILVA, G.; BARRADAS, O. Sistemas radiovisibilidade. In: EMBRATEL (Ed.). **Telecomunicações**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos: Embratel, 1978. v. 1, p. 17–64.

CAPÍTULO 3 MODELOS DE PROPAGAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

A substituição da técnica de tentativa e erro para se encontrar o melhor resultado por métodos computacionais de cálculo são a mais comum forma de reduzir tempo e custo em projetos de diversas áreas e para projetos de RF não é diferente. A simulação do comportamento da onda eletromagnética em propagação no meio em estudo através de modelos matemáticos do ambiente é de fundamental importância para um projeto bem estruturado e com o melhor custo-benefício.

Para que esta simulação seja feita, diversas informações sobre o local no qual se situa o enlace são necessárias. Estes dados são chamados de dados morfológicos e topográficos da região.

Com dados sobre a morfologia e topografia do ambiente, bem como dados sobre o comportamento da onda no mesmo, alguns pesquisadores criaram modelos matemáticos que exprimissem o decaimento da potência com o distanciamento da fonte emissora. Tais modelos foram chamados de modelos de propagação.

Existem diversas outras formas de se simular a propagação de uma onda em um determinado meio, tais como os métodos das diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD) (OLIVEIRA, 2003) e o método dos elementos finitos no domínio do tempo (FETD) (ARTUZI Jr, 2003). Entretanto, como estas metodologias demandam muitos detalhes sobre a área em estudo e quanto maior a área, maior o tempo de processamento computacional da simulação por estes métodos, atualmente a forma mais viável de simulação para projetos de RF continuam sendo os modelos de propagação empíricos ou estatísticos clássicos apresentados a seguir.

Existem inúmeros modelos de propagação que podem ser utilizados para os mais diversos tipos de projetos. Para esta dissertação alguns dos modelos mais usados para projetos de RF na cidade de Curitiba, os modelos de Lee, Okumura, Hata e COST231-WI, serão analisados em seus pontos fortes e fracos e a compilação dos pontos fortes de cada um será levada em consideração a fim de se chegar à formulação final, objetivo desta dissertação.

Antes de se escolher o modelo de propagação mais adequado ao projeto e a região do mesmo, é necessário o conhecimento das distribuições estatísticas adequadas ao sinal de rádio de forma a prever o seu comportamento corretamente. (BERTONI, 1999)

Um sinal de rádio propagante está normalmente sujeito a dois principais tipos de

desvanecimento, o lento, o qual depende principalmente da distância e o rápido, com grande efeito devido ao movimento do terminal e ao multipercurso sofrido pela onda propagante.

A maioria dos modelos resulta em dados de valor médio do sinal na recepção e desvanecimento ao longo do percurso, o que torna explícita a necessidade do conhecimento estatístico acima.

Dentre os modelos existentes, os abordados aqui serão os de Lee, Okumura, Hata, Cost-231 e Erceg, explanados a seguir.

3.2 MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Os modelos de propagação podem ser encontrados em grande quantidade na literatura. Diversas situações como antenas móveis em áreas abertas ou internas a edificações e ainda modelos específicos para diferentes tamanhos de área de cobertura, as células, que podem ser macrocélulas cujas áreas de cobertura tem alcance superior a 2 km, microcélulas as quais apresentam área de cobertura com alcance máximo de 1 km e picocélulas, com cobertura de apenas algumas dezenas de metros objetivando principalmente transmissões internas a edificações.

Pretende-se aqui, compilar um sistema para propagações em ambientes externos a edificações, e para tal, dos modelos existentes foram escolhidos os já citados anteriormente, que se encaixam neste tipo de situação de propagação e serviram como base para a proposta desta dissertação. Finalmente, para os modelos que se encaixam nos objetivos propostos pode-se, ainda, classificá-los em empíricos ou teóricos a fim de se iniciar uma análise qualitativa para determinação dos pontos fortes e fracos.

Os modelos empíricos são aqueles baseados em dados e medidas reais. Por se basearem em medidas reais, os modelos empíricos detêm a vantagem de levar em consideração todos os fatores que afetam a propagação, porém necessitam ser validados para cada região através de ajustes com dados reais da própria região a ser aplicado. Seu resultado normalmente é dado através de relações simples entre atenuação e distância.

Já os modelos teóricos se utilizam de dados topográficos e morfológicos da região para cálculo de atenuações, entretanto este tipo não leva em consideração todos os fatores e não leva em conta o ambiente no qual o receptor se desloca. Uma vantagem deste tipo de modelo é permitir a rápida troca dos valores de algum parâmetro a fim de deixar o modelo mais próximo da realidade.

Um fato a ser observado é que não existe modelo de propagação capaz de prever

todas as situações em todos os tipos de ambientes, frequências e parâmetros diversos como demonstrado em (LOW, 1992). Desta forma, o modelo aqui compilado servirá muito bem para o centro da Cidade de Curitiba com o uso da faixa de frequências para comunicação móvel pessoal, entre 850 MHz e 2100 MHz.

Ainda quanto aos tipos de modelos de propagação, a classificação de ambientes é um ponto crucial para a correta simulação por parte de um modelo de propagação. Caso um determinado terreno seja classificado erroneamente no ponto de vista do modelo escolhido, um erro considerável será cometido para o resultado final e o projeto poderá ser completamente inutilizado apenas por este pequeno erro.

A classificação de ambiente contém três grandes grupos, rural, suburbana e urbana, que podem ser subdivididos para a utilização em alguns modelos de propagação. Esta classificação leva em conta características físicas do local, como ondulação do terreno, densidade da vegetação, densidade e altura dos edifícios, existência de superfícies aquáticas, entre outras.

Estas características compõem a morfologia do terreno, conjuntamente com o aruamento, que causa o efeito de propagação guiada, e com dados sobre distâncias entre edifícios, que causam obstruções múltiplas por lâminas.

De uso da morfologia, modelos de propagação podem simular com melhor precisão o comportamento da onda, entretanto, como a tarefa de aferição de um modelo de propagação com base em dados reais não é precisa, desvios significativos ocorrem entre a previsão e a realidade.

3.2.1 MODELO DE LEE

O modelo de Lee é um modelo empírico válido para frequências na faixa de 900 MHz muito utilizado para projetos de sistemas celulares de comunicação móvel pessoal (IEEE VTS, 1988). Proposto em 1985 por W. C. Y. Lee (LEE; YEH, 1974; LEE, 1985a, 1985b), o modelo que leva seu nome é oriundo de dados experimentais que demonstraram o comportamento da onda propagante quanto à atenuação do nível de sinal em função da distância (dada em dB/década) de acordo com o tipo de terreno ou elemento morfológico.

Este modelo trabalha com a morfologia sem detalhes, apenas grandes áreas de classificação morfológica com: área urbana, urbana densa, suburbana, vegetação densa, vegetação média, vegetação rasteira e água.

Para uso deste modelo é necessário se obter dois parâmetros do terreno em condições padrão, considerando-se a altura das antenas de transmissão e recepção e ainda

a potência de emissão. Estes dois parâmetros são taxa de atenuação (dB/década) e nível de sinal recebido no ponto de interseção a 1,6 km do transmissor (dBm).

Como neste modelo, dados como altura de prédios ou distância entre eles não são considerados, não existe a previsão de zonas de sombreamento, tornando o modelo útil apenas para propagação *outdoor*.

O modelo é equacionado da seguinte forma:

$$P_r = P_0 - \gamma \log\left(\frac{r}{r_0}\right) + Af + G_{effh}(h_e, h_1) + L(v) + \alpha \quad (3.1)$$

Onde a variável P_r é a potência de recepção dada em dBm, P_0 representa a potência de recepção no ponto de interseção dada em dBm. O ponto de interseção é descrito como o ponto à distancia de uma milha, o equivalente a 1,6 km, da antena de transmissão.

Já o símbolo γ representa a variável de decaimento da atenuação de propagação ou fator de rugosidade do terreno em dB/década, r para a distância entre a estação base e o móvel em quilômetros e r_0 para a distância entre a estação base e o ponto de interseção também em quilômetros.

O ganho devido à altura efetiva da antena é dado pela função G_{effh} , expresso em dB. Tal função é dependente da altura efetiva da antena da estação base (h_e) dada em metros e da altura real da antena da estação base (h_1) também dada em metros.

As perdas por difração no terreno, também chamadas de perda por sombreamento em dB são dadas pela função $L(v)$, a qual é dependente da variável adimensional de correlação entre as distâncias do obstáculo com as antenas (v).

Finalmente, para o modelo de Lee, os fatores de ajuste da frequência em dB e do sinal são respectivamente dados pelas variáveis Af e α .

A atenuação de propagação para este modelo é dado pelo termo $P_0 - \gamma \log(r/r_0) + Af$, o qual modeliza a atenuação área-a-área.

Os seguintes aspectos devem ser levados em consideração quando da aplicação deste modelo:

- Linha de visada
- Existência de água

3.2.1.1 LINHA DE VISADA - ONDA DIRETA

Existe linha de visada entre o móvel e a estação base, quando o raio direto entre a estação base e o móvel não se encontra obstruído pelo terreno. Neste caso, o ganho

associado à variação da altura efetiva da antena torna-se um elemento fundamental na determinação do sinal recebido. O ganho associado à variação da altura efetiva da antena da estação base pode variar de acordo com o perfil de terreno ao longo de uma mesma radial.

3.2.1.2 SEM LINHA DE VISADA - SOMBREAMENTO

Neste caso não existe altura efetiva da antena, logo as perdas são fundamentalmente devidas à difração associada ao perfil de terreno.

3.2.1.3 EXISTÊNCIA DE ÁGUA

Quando o percurso do sinal está entre a estação base e o móvel passando sobre água, uma atenuação de espaço livre de 20 dB/década deve ser aplicada. É claro que o modelo conta com uma base de dados bem delineada em termos da localização das superfícies aquáticas.

3.2.1.4 LIMITAÇÕES DO MODELO DE LEE

Primeiramente, o termo que representa a atenuação da onda área a área ($P_0 - \gamma \log(r/r_0) + Af$) não leva em consideração as perdas por difração e nem os efeitos de sombreamento devido à falta de detalhamento da morfologia do terreno, utilizando-se de valores médios dos dados para uma grande área de cobertura, chamado de “manchas”.

Como γ (fator de rugosidade do terreno) utiliza estas “manchas” de tipos de terrenos, uma incoerência acontece quando comparados os dados da atenuação área a área do modelo de Lee para terrenos com morfologia de área aberta e suburbana. O modelo de Lee considera que a atenuação em área aberta é maior do que a da área suburbana, ignorando as possíveis zonas de sombreamento e perdas por difração, como pode ser visto na FIGURA 3.1, cujos valores são apresentados na TABELA 3.1.

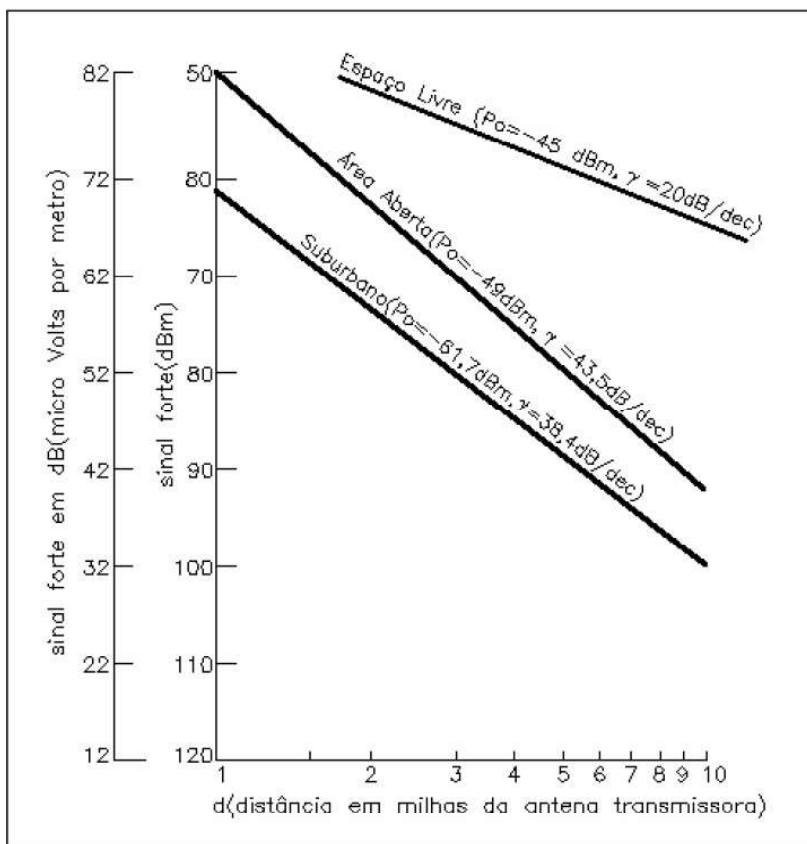


FIGURA 3.1 – VALORES DE DECAIMENTO E PONTO DE INTERSEÇÃO DERIVADOS DE MEDIDAS REAIS

FONTE: LEE (1985b)

Os valores do gráfico na FIGURA 3.1 foram retirados da TABELA 3.1 abaixo.

TABELA 3.1 – VALORES DE DECAIMENTO E PONTO DE INTERSEÇÃO DERIVADOS DE MEDIDAS REAIS

AMBIENTE	P_0 [dBm]	γ [dB/década]
Espaço livre	-45,0	20,0
Área Aberta	-49,0	43,5
Suburbano	-61,7	38,4

FONTE: PEREIRA (2007)

O parâmetro Af corresponde ao fator de ajuste da frequência. Como a frequência de referência deste modelo é de 850 MHz, este parâmetro faz-se necessário. Na TABELA 3.2 observam-se as bandas, os tipos de ambientes e o cálculo de Af em [dB], onde f é a frequência da portadora em [MHz].

TABELA 3.2 – FATOR DE AJUSTE DAS FREQUÊNCIAS (Af)

BANDA [MHz]	AMBIENTE	
	URBANO	RESTANTE
150 a 450	$Af = 8,29 - 20\log\left(\frac{f}{850}\right)$	$Af = -20\log\left(\frac{f}{850}\right)$
450 a 850	$Af = -30\log\left(\frac{f}{850}\right)$	$Af = -20\log\left(\frac{f}{850}\right)$
850 a 2400	$Af = -30\log\left(\frac{f}{850}\right)$	$Af = -30\log\left(\frac{f}{850}\right)$

FONTES: PEREIRA (2007)

O modelo de Lee é válido nas três faixas de frequências apresentadas na TABELA 3.2. Este ajuste nas frequências se dá principalmente devido ao comportamento de baixa penetração das baixas frequências em ambientes com muitos obstáculos.

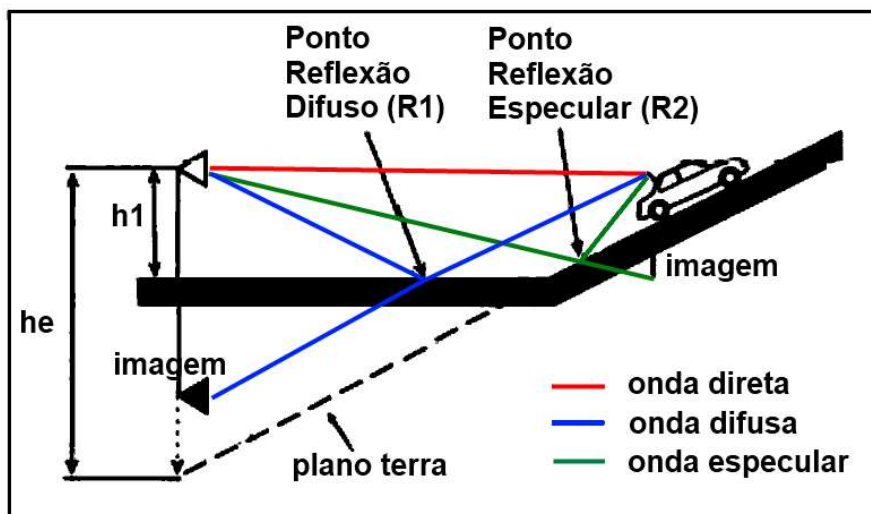
Como as frequências de estudo aqui propostas estão dentro do terceiro grupo apresentado na TABELA 3.2 (Banda de 850 MHz a 2400 MHz), o comportamento do valor de Af não se altera para nenhuma variação de ambiente e por este motivo o modelo de Lee perde em precisão quando ocorrem efeitos de propagação não contemplados pela formulação, como espalhamento de onda, onda guiada por arruamentos ou difração no topo e laterais dos edifícios, pois estes fenômenos estão diretamente ligados às frequências utilizadas e aos ambientes de propagação.

Já na parte do ganho associado à altura efetiva da antena (G_{effh}), como os dados fornecidos a este modelo não contemplam as alturas das edificações e do terreno de forma exata, o cálculo deste ganho fica com baixa precisão, afetando o projeto de RF como um todo.

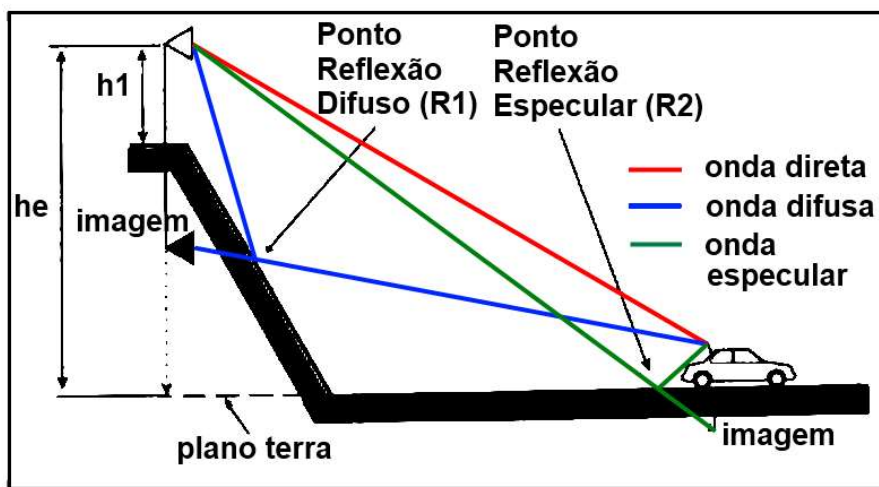
Como seu cálculo passa por definir qual a altura relativa da antena através do ponto de reflexão do terreno mais próximo do móvel (PEREIRA, 2007) e como este cálculo utiliza apenas a elevação do terreno, as edificações ao redor, nas quais a reflexão realmente ocorreria são ignoradas e o cálculo de G_{effh} fica incorreto.

O cálculo de G_{effh} em dB é dado pela equação (3.2) e o valor de h_e em metros é calculado conforme mostram as FIGURAS 3.2 e 3.3, sendo as variáveis R_1 e R_2 os pontos de reflexão Especular e difuso, respectivamente e h_2 a variável da altura da antena do móvel expressa em metros.

$$G_{effh} = 20\log\left(\frac{h_e}{h_1}\right) \quad (3.2)$$



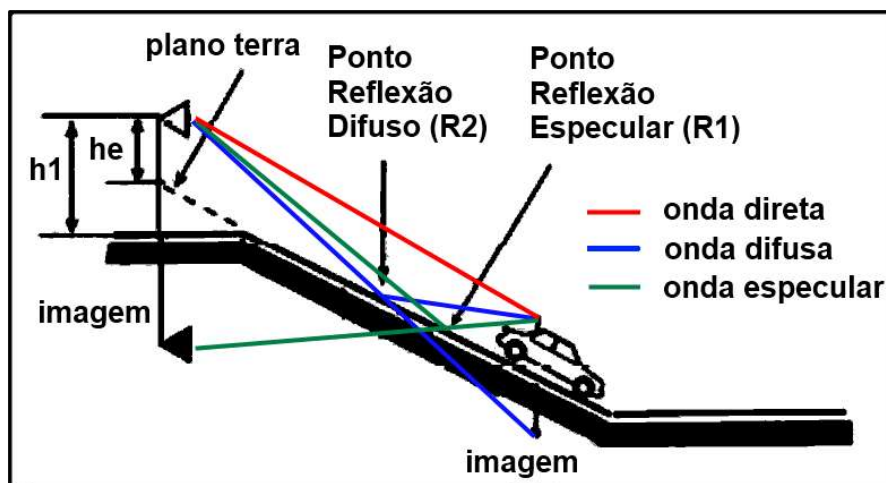
(a) $G_{EFFH} < 0$ PARA PLANO TERRA INCLINADO



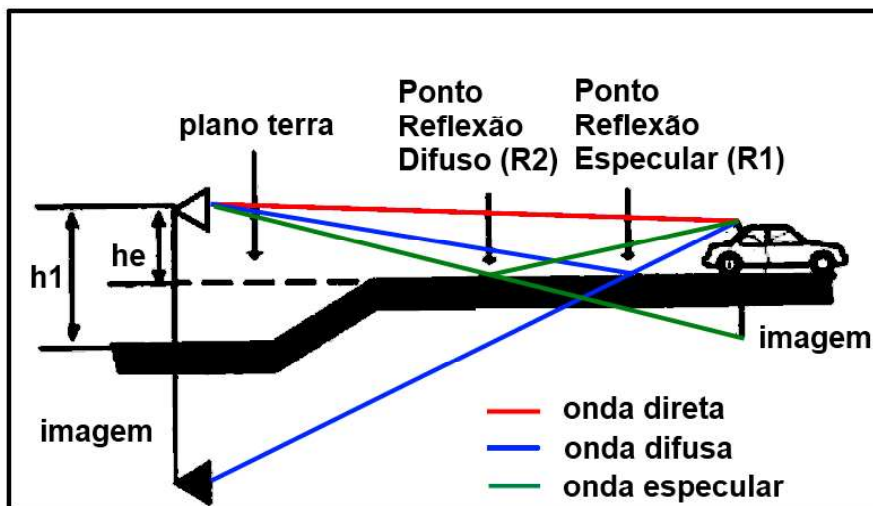
(b) $G_{EFFH} < 0$ PARA PLANO TERRA HORIZONTAL

FIGURA 3.2 – DETERMINAÇÃO DO PONTO ESPECULAR A ALTURA EFETIVA PARA $G_{EFFH} < 0$

FONTE: PEREIRA (2007)



(a) $G_{EFFH} > 0$ PARA PLANO TERRA INCLINADO



(b) $G_{EFFH} > 0$ PARA PLANO TERRA HORIZONTAL

FIGURA 3.3 – DETERMINAÇÃO DO PONTO ESPECULAR A ALTURA EFETIVA PARA $G_{EFFH} > 0$

FONTE: PEREIRA (2007)

Dentro dos parâmetros da formulação de Lee existe ainda o fator de ajuste α , utilizado para balizar a previsão dentro de parâmetros reais relacionados com a estação rádio base e a estação móvel e as perdas por difração no terreno ($L(v)$).

O fator de ajuste α é efetuado em potência de transmissão, alturas dos centros de emissão das antenas fixas e móveis e ganho destas antenas. Na equação (3.3) encontra-se o cálculo de α .

$$\alpha = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_{tp}} \right) + 20 \log \left(\frac{H_1}{H_{1p}} \right) + 10 \log \left(\frac{H_2}{H_{2p}} \right) + (G_r - G_{rp}) + (G_m - G_{mp}) \quad (3.3)$$

Sendo a potencia de emissão da estação base a variável P_t , dada em Watts e a variável P_{tp} representando a potência de emissão padrão da estação base, também dado em Watts.

As alturas h_1 e h_2 são dadas em metros e as variáveis h_{1p} e h_{2p} passam a representar a altura padrão da antena da estação base e a altura da antena padrão do móvel respectivamente, ambas em metros.

Quanto aos ganhos, todos são dados em dBd e as variáveis G_r , G_{rp} , G_m e G_{mp} são respectivamente os ganhos da antena da estação base, ganho padrão da antena da estação base, da antena do móvel e ganho padrão da antena do móvel.

Os valores padrão para o modelo de Lee são apresentados a seguir.

$$\begin{cases} P_{tp} = 10 & [\text{W}]; \\ h_{1p} = 30 & [\text{m}]; \\ h_{2p} = 3 & [\text{m}]; \\ G_{rp} = 6 & [\text{dBd}]; \\ G_{mp} = 0 & [\text{dBd}]. \end{cases}$$

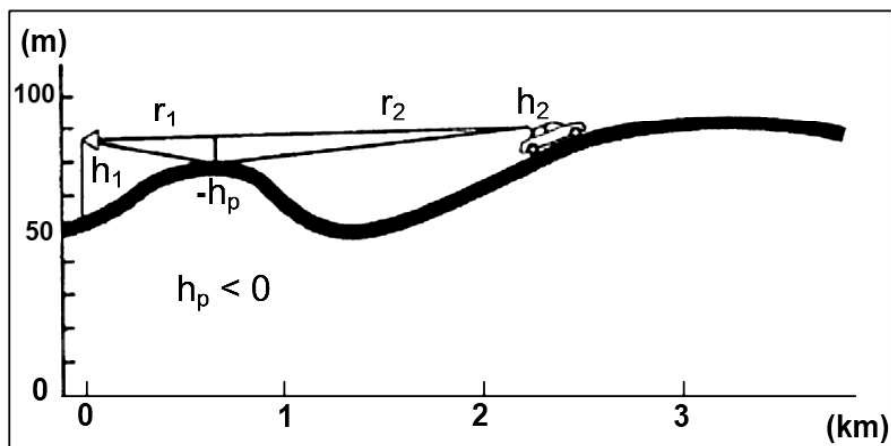
As perdas por difração no terreno ($L(v)$) são conhecidas também por sombreamento e deve ser calculado quando existe obstrução total ou parcial da visada direta entre T_x e R_x por um obstáculo tipo lâmina isolado.

Como estas perdas por difração são calculadas pela teoria de Fresnel-Kirchoff, $L(v)$ dependerá da variável adimensional de correlação entre a onda e as distâncias do obstáculo com as antenas v , mostrada abaixo.

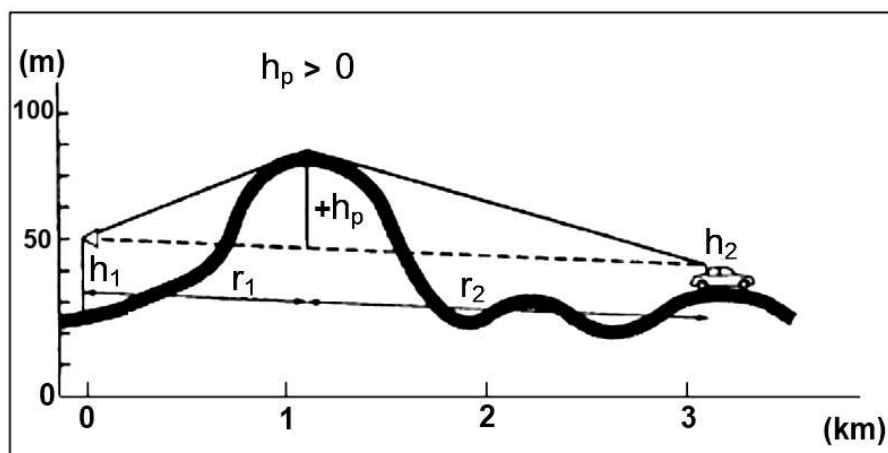
$$v = h \sqrt{\left(\frac{2}{\lambda} \right) \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (3.4)$$

Com a altura da obstrução acima ou abaixo do raio direto h em metros, λ em metros, a distância da estação - base ao obstáculo em lâmina d_1 em metros e a variável d_2 representando a distância do obstáculo em lâmina ao móvel, também em metros.

Na FIGURA 3.4 podem-se observar os parâmetros da equação (3.4).



(a) COM VISADA DIRETA



(b) SEM VISADA DIRETA

FIGURA 3.4 – DIAGRAMA DOS PARÂMETROS DE ν PARA PERDA POR DIFRAÇÃO NO TERRENO COM E SEM VISADA DIRETA

FONTE: PEREIRA (2007)

O cálculo da perda por sombreamento ($L(\nu)$) pode ser expressa em integrais de Fresnel dependentes de ν . Podem-se aproximar tais integrais pela função (3.5):

$$L(\nu) = \begin{cases} 0 & \forall \quad 1 < \nu \\ -20 \log(0,5 + 0,62\nu) & \forall \quad 0 < \nu < 1 \\ -20 \log(0,5e^{0,92\nu}) & \forall \quad -1 < \nu < 0 \\ -20 \log\left(0,4 - \sqrt{0,1184 - (0,1\nu + 0,38)^2}\right) & \forall \quad -2,4 < \nu < -1 \\ -20 \log\left(\frac{-0,2255}{\nu}\right) & \forall \quad \nu < -2,4 \end{cases} \quad (3.5)$$

Como os parâmetros de perdas por difração $L(v)$ não levam em consideração o formato e nem a distância entre os edifícios, sendo calculadas através de valores médios de alturas da morfologia do local, estas formulações resultam em valores de perdas por sombreamento aproximadas. Uma morfologia complexa como a do centro da cidade de Curitiba resultaria em uma média de alturas fora da realidade por conter edificações muito altas isoladas em quadras com outras edificações muito menores.

Um exemplo a ser analisado é o das quadras próximas ao Centro Comercial Itália (CCI). Com seus 37 andares e 112 metros de altura, o CCI é a edificação mais alta do local e os prédios mais altos próximos dele tem no máximo $2/3$ de sua altura, sendo que na própria quadra do CCI as demais edificações são, em sua maioria, de três ou quatro andares.

Observa-se ainda que o efeito da difração nas laterais dos obstáculos não é contabilizado.

Finalmente, pôde-se perceber que mesmo um modelo muito utilizado como o de Lee não se enquadra nas exigências de precisão de projetos de RF desejadas para este estudo por levar em consideração dados geográficos e morfológicos médios para grandes áreas, as chamadas “manchas morfológicas”.

3.2.2 MODELO DE OKUMURA

Modelo empírico, com base em dados experimentais de cidades no Japão, este modelo é muito utilizado para áreas urbanas. O equacionamento do modelo de Okumura (OKUMURA et al., 1968) é mostrado em (3.6), no qual calcula o valor médio de perdas devido ao caminho de propagação $L_{Okumura}$, dado em decibéis.

$$L_{Okumura} = L_0 + A(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G(area) \quad (3.6)$$

Neste modelo, L_0 é dado em dB, a função $A(f, d)$ é um valor em decibéis encontrado em curvas empíricas, dependente da frequência em MHz e da distância d entre a estação rádio base e a receptora móvel em quilômetros.

Os ganhos $G(h_{te})$ e $G(h_{re})$ representam respectivamente os fatores de ganho das estações base transmissora e móvel receptora, ambos em dB, os quais são dependentes das alturas em metros h_{te} e h_{re} , que representam as alturas efetivas da antena base transmissora e da antena móvel receptora, respectivamente.

Ainda, a variável de ganho $G(area)$ é um valor em decibéis encontrado em curvas empíricas e expressa o ganho gerado devido ao ambiente em que o sistema está operando.

3.2.2.1 LIMITAÇÕES DO MODELO DE OKUMURA

A atenuação $A(f, d)$ é calculada através de valores pré-definidos em tabelas, a qual é dependente apenas da frequência e da distância, conjuntamente com o fator $G(areá)$, que também é empírico e tabelado área a área, fazem do modelo de Okumura um modelo de baixa especificidade e pouco preciso.

Tendo em vista o ambiente em estudo, o modelo de Okumura se revela inapropriado para o nível de detalhamento objetivado.

3.2.3 MODELO HATA

O modelo de Hata (HATA, 1980) baseia-se no modelo de Okumura (OKUMURA et al., 1968) para apresentar uma formulação mais prática para a modelagem de propagação e portanto é um modelo empírico.

Se a cobertura do terreno é conhecida apenas aproximadamente e os parâmetros necessários aos modelos semi-determinísticos não podem ser determinados, a estimação da perda no percurso é feita através de modelos empíricos como é o caso do modelo Hata.

Este modelo utiliza dados morfológicos do terreno para os cálculos, entretanto apenas os dados de tipo de terreno (urbano, suburbano, rural, vegetação densa, etc.) sem detalhamento são contabilizados.

Quatro parâmetros são usados para a determinação da perda de propagação neste modelo: frequência (f), distância (d), altura da estação base transmissora (h_{te}) e a altura da estação móvel receptora (h_{re}).

A aplicação deste modelo está em projetos de macro células por cobrir áreas maiores que 1 km e apresentar alturas das antenas da estação base (h_{te}) superiores as alturas dos telhadas próximos.

Finalmente, as perdas por propagação (L_{Hu}) em decibéis para áreas urbanas é apresentada na equação (3.7)

$$L_{Hu} = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + [44,9 - 6,55 \log(h_{te})] \log(d) \quad (3.7)$$

Observar que para o modelo de Hata, a frequência deve ser fornecida em MHz, as alturas em metros e a distância entre Tx e Rx em quilômetros.

Ainda, a variável $a(h_{re})$ representa o fator de correção da altura efetiva da antena receptora da unidade móvel a qual é obtida em função do tamanho da área de cobertura e

é dada em dB e pode ser calculado das seguintes formas:

1. Para região urbana:

$$a(h_{re}) = [1,11 \cdot \log(f) - 0,7]h_{re} - [1,56 \cdot \log(f) - 0,8] \quad (3.8)$$

2. Para região urbana densa:

$$a(h_{re}) = \begin{cases} 8,29[\log^2(1,54h_{re})] - 1,10 & \forall f \in \mathbb{R}^+ \mid f \leq 200 \text{ MHz} \\ 3,2[\log^2(11,75h_{re})] - 4,97 & \forall f \in \mathbb{R}^+ \mid f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases} \quad (3.9a)$$

$$(3.9b)$$

O valor médio da perda devido ao caminho de propagação para área suburbana (L_{Hs}) em [dB] é expresso pela equação (3.10):

$$L_{Hs} = L_{Hu} - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (3.10)$$

O valor médio da perda devido ao caminho de propagação para áreas rurais abertas (L_{Hr}) em [dB] é apresentado na equação (3.11):

$$L_{Hr} = L_{Hu} - 4,78[\log(f)]^2 - 18,33\log(f) - 40,98 \quad (3.11)$$

3.2.3.1 LIMITAÇÕES DO MODELO DE HATA

Este modelo é restrito a faixas de frequência entre 150 MHz e 1500 MHz, alturas da estação base (h_{te}) entre 30 e 200 m, alturas da estação móvel (h_{re}) entre 1 e 10 m e distâncias entre as estações base e móvel de 1 a 20 km.

Como visto, o modelo de Hata, assim como o modelo de Okumura, deixa a desejar em complexidade no tocante à base de dados de morfologia da área em estudo utilizada, sendo assim, não modela caso específicos como o do CCI.

A baixa complexidade da base de dados usada aliada ao fator de correção $a(h_{re})$ depender apenas da altura da antena receptora e da frequência, limitam este modelo a não prever áreas de sombreamento e nem permitir analisar aspectos como ondas guiadas pelo arruamento.

3.2.4 MODELOS DE COST 231

COST (*Cooperation in the Field of Scientific and Technical*) é uma cooperação intergovernamental da União Europeia de fomento à pesquisa e desenvolvimento através da

redução da fragmentação de custos de investimento em pesquisa e expandir a *European Research Area* (ERA) para cooperação mundial (COST, 2010a).

Esta instituição tem o objetivo de desenvolver trabalhos em diversas áreas de conhecimento, sendo uma delas a de tecnologias da informação e comunicações (COST, 2010b), cujos grupos de trabalho realizam pesquisas em áreas afins a esta dissertação.

Cada grupo de pesquisa dentro do COST recebe o nome de *Action*.

Dentro da área de pesquisa sobre tecnologias da informação e comunicação, em 6 de abril de 1989 deu-se início aos trabalhos da Action 231 com o título de *Evolution of land mobile radio (including personal communication)*.

No ano de 1993, em 5 de abril finalizou-se as atividades do grupo de cooperação da Action 231, que era composto por pesquisadores de 20 países diferentes. O relatório final gerado pela Action 231 foi o COST Action 231 (1993).

Um importante produto do COST Action 231 é o desenvolvimento de modelos de propagação *outdoor* para aplicação em áreas urbanas em bandas de 900 e 1800 MHz.

Baseado em campanhas de exaustivas medidas em cidades da Europa, COST 231 investigou diferentes modelos existentes e criou novos modelos de propagação. Estes modelos, válidos para terreno plano, são baseados em aproximações de Walfisch-Bertoni (WALTISCH; BERTONI, 1988 apud CICHON; KÜENER, 1993), Ikegami (IKEGAMI et al., 1984 apud CICHON; KÜENER, 1993) e Hata (HATA, 1980 apud CICHON; KÜENER, 1993). (CICHON; KÜENER, 1993, p. 134).

3.2.4.1 MODELO DE COST 231 – HATA-MODEL

O COST 231 baseou-se no modelo de Hata, extendendo-o à faixa de frequências entre 1500 e 2000 MHz através da análise das curvas de propagação das frequências mais altas do modelo de Okumura no qual o modelo de Hata foi baseado. Esta combinação foi chamada de “COST-Hata-Model” (CICHON; KÜENER, 1993, p. 135).

A estimativa da perda de propagação do sinal neste modelo é dado pela equação (3.12).

$$L_{COST-HATA} = 46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})) \log(d) + C_m \quad (3.12)$$

Sendo as variáveis iguais as do modelo Hata, o fator de correção $a(h_{re})$ dado pela equação (3.8) e o fator de correção pelo terreno (C_m), cujo valor será 0 dB para cidades de

porte médio e centros suburbanos com média densidade de árvores ou 3 dB para centros metropolitanos.

3.2.4.2 LIMITAÇÕES NO MODELO DE COST 231 – HATA-MODEL

Além das restrições apresentadas para o modelo de Hata, no qual este modelo se baseia, o COST 231 – Hata-Model é restrito a projetos de grandes e pequenas macrocélulas, ou seja, altura da antena da estação base acima da da altura dos telhados adjacentes.

Desta forma, os modelos de Hata e esta modificação do modelo não devem ser utilizadas para projetos de microcélulas.

Ainda, esta modificação deve ser usada para frequências entre 1500 e 2000 MHz, distâncias entre estação base e rádio móvel entre 1 e 20 km e alturas da estação base (h_{te}) e estação móvel (h_{re}) entre 30 e 200 m e 1 e 10 m respectivamente.

3.2.4.3 MODELO DE COST 231 – WALFISCH-IKEGAMI-MODEL

Desenvolvido a partir de dois modelos, Walfisch-Bertoni (WALTISCH; BERTONI, 1988) e Ikegami (IKEGAMI; YOSHIDA, 1980; IKEGAMI et al., 1984), pelo COST 231, o modelo COST-Walfisch-Ikegami (COST-WI) (COST ACTION 231, 1993) utiliza maior quantidade de dados do terreno para seus cálculos.

Os dados morfológicos sobre altura de edificações (h_t), distância entre os mesmos (b), largura média de ruas (w) e suas respectivas orientações com relação à direção de propagação (φ) são contabilizados para se calcular a potência do sinal recebido em cada posição. A FIGURA 3.5, retirada da p. 158 de CICHON e KÜENER (1993) mostra um exemplo de recepção com diversos tipos de efeitos de propagação envolvidos, que só podem ser estimados com informações detalhadas sobre a região em estudo.

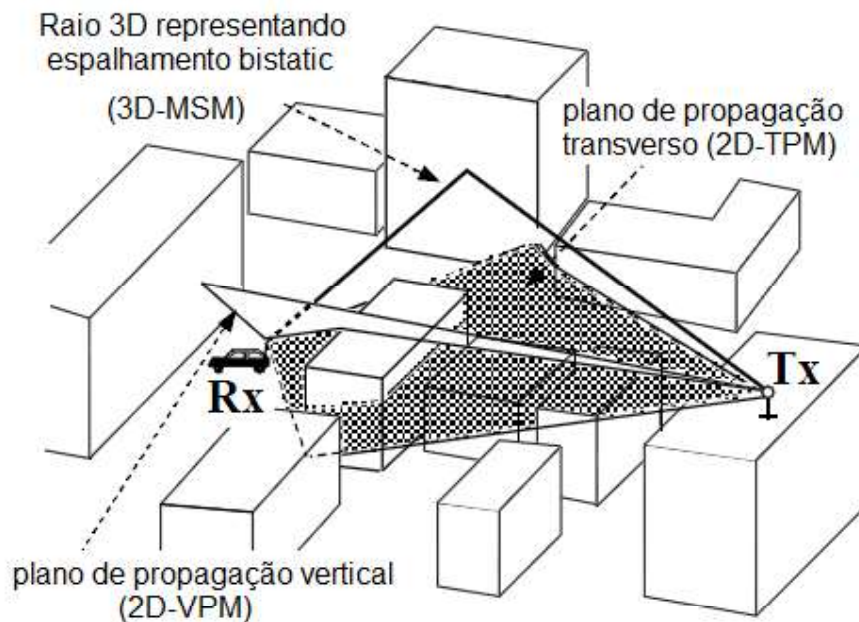


FIGURA 3.5 – EXEMPLO TRIDIMENSIONAL DE UMA PROPAGAÇÃO COM DIVERSOS EFEITOS ENVOLVIDOS, COMO ESPALHAMENTO, REFLEXÃO E DIFRAÇÃO

FONTE: CICHON e KÜENER (1993, p. 158) TRADUZIDO PELO AUTOR

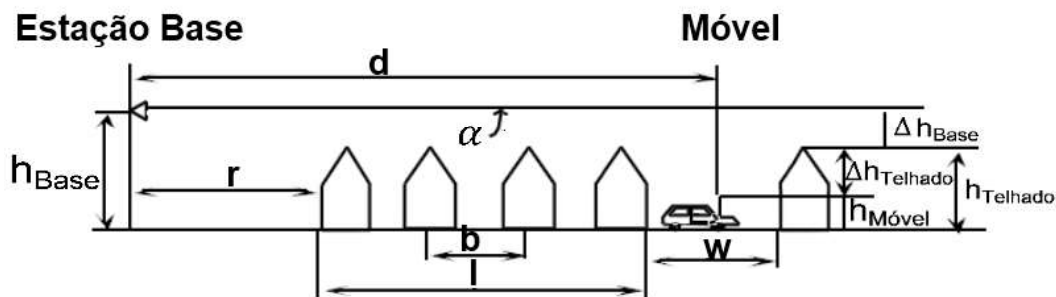


FIGURA 3.6 – CASO TÍPICO DE PROPAGAÇÃO EM ZONA URBANA COM ALGUNS PARÂMETROS USADOS NO EQUACIONAMENTO DO MODELO COST-WI

FONTE: CICHON e KÜENER (1993, p. 136) TRADUZIDO PELO AUTOR

Sendo o COST-WI um modelo mais detalhado, sua utilização recai sobre áreas urbanas, exemplificado na FIGURA 3.6 que mostra um caso típico de propagação em zona urbana, e nas faixas de frequências entre 800 MHz e 2000 MHz e pode ser utilizado em projetos de macro e micro células.

Ainda, as antenas das estações fixas podem estar situadas acima (FIGURA 3.7) ou abaixo (FIGURA 3.8) dos elementos morfológicos próximos, como prédios ou monta-

nhas e mesmo sem haver visada direta a estação móvel, é possível fazer a previsão de recepção com este modelo.

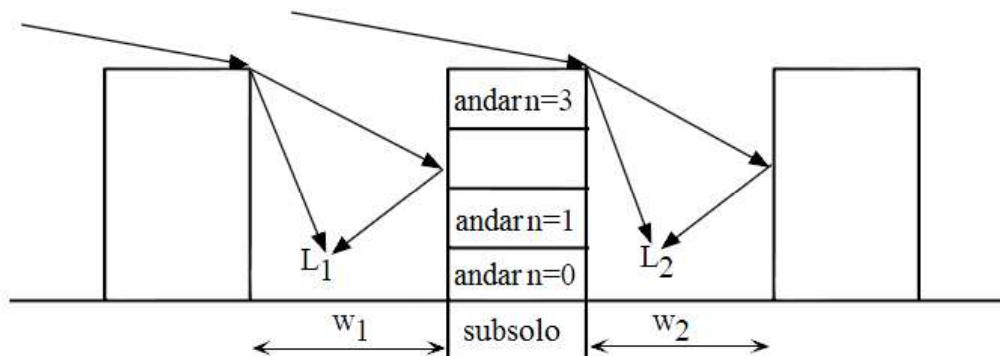


FIGURA 3.7 – RECEPÇÃO DE SINAL SEM VISADA DIRETA E COM ANTENA DE T_x ACIMA DOS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS PRÓXIMOS

FONTE: CICHON e KÜENER (1993, p. 172) TRADUZIDO PELO AUTOR

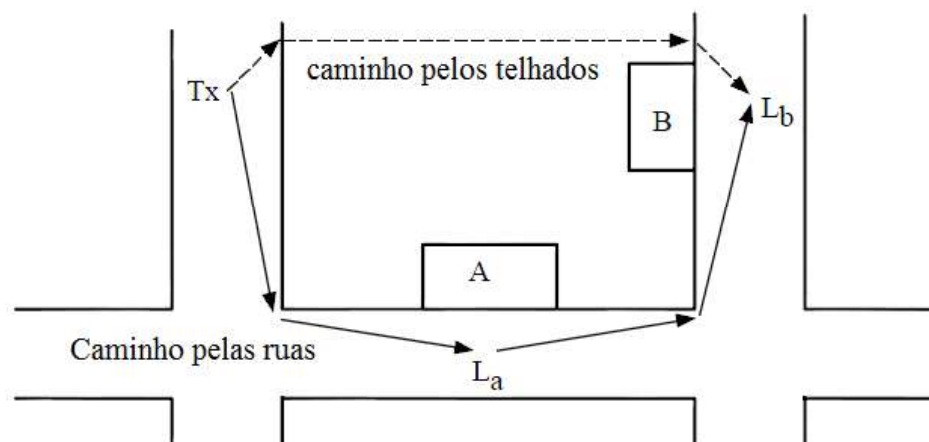


FIGURA 3.8 – VISTA AÉREA DE EXEMPLO DE RECEPÇÃO DE SINAL SEM VISADA DIRETA E ANTENA DE T_x ABAIXO DOS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS PRÓXIMOS

FONTE: CICHON e KÜENER (1993, p. 172) TRADUZIDO PELO AUTOR

Diferentemente dos modelos vistos anteriormente, o modelo proposto em CICHON e KÜENER (1993), o COST-WI, leva em consideração diversos efeitos de propagação, como a propagação guiada através de ruas cercadas de edifícios, efeito diferente de propagação em espaço livre, ou ainda efeitos de difração e espalhamento, como exemplificado na FIGURA 2.2. Desta forma o modelo pode prever áreas de sombreamento e áreas com sinal que não seriam detectados pelos outros modelos descritos acima.

A modelagem da propagação em COST-WI passa a ser mais complexa devido ao seu grande poder de utilização e previsão. Muitos parâmetros do ambiente são levados em consideração, como os mostrados nas FIGURA 3.6, FIGURA 3.9 e Figura 3.10.

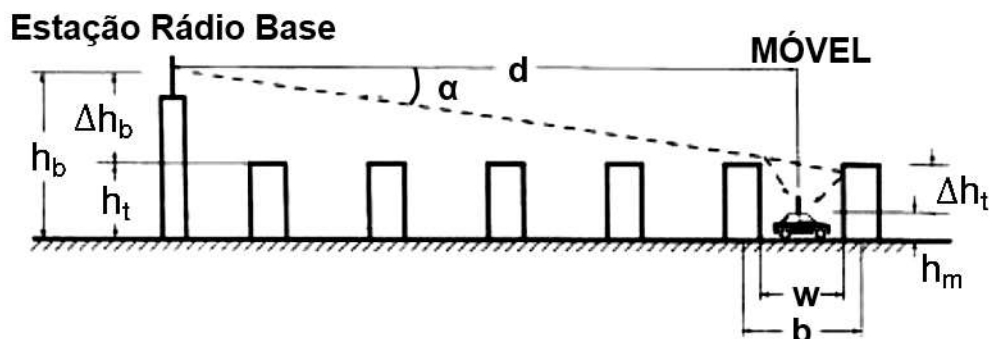


FIGURA 3.9 – ALGUNS PARÂMETROS PARA A EQUAÇÃO DE COST-WI

FONTE: CICHON e KÜENER (1993, p. 133) TRADUZIDO PELO AUTOR

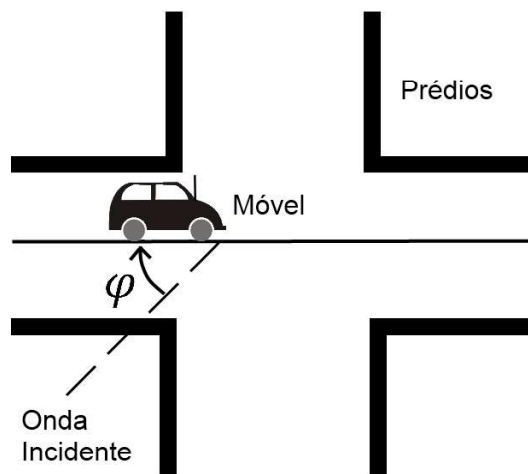


FIGURA 3.10 – DEFINIÇÃO DO ÂNGULO DE ORIENTAÇÃO DA RUA COM A ONDA INCIDENTE

FONTE: CICHON e KÜENER (1993, p. 137) TRADUZIDO PELO AUTOR

Para o modelo COST-WI, o valor médio da perda de propagação em decibéis ($L_{COST-WI}$) é dividida em diversas fórmulas, uma para cada situação encontrada na região. Inicialmente, tem-se a consideração da distância (d) entre as antenas de Tx e Rx apresentada na equação (3.13).

$$L_{COST-WI} = \begin{cases} 42,6 + 26\log(d) + 20\log(f) & \forall d \geq 20m \\ L_0 & \forall d < 20m \end{cases} \quad (3.13)$$

A saber, a atenuação em espaço livre deve ser dada em decibéis, a frequência em MHz e a distância entre estações em quilômetros.

Quando em uma região com diversas obstruções, como áreas urbanas, o modelo passa a ter três componentes básicos:

1. Perda no espaço livre (L_0) em [dB];
2. Perda por difração e espalhamento no topo dos edifícios (L_{rts}) em [dB];
3. Perda devido a múltiplas difrações e reflexões ocorridas ao nível da rua ou multiplanos (L_{ms}) [dB].

Considerando-se os multiplanos como sendo as diversas alturas de edificações ao redor da antena de T_x , que são modelados como sendo semiplanos.

Desta forma, teremos a seguinte formulação:

$$L_{COST-WI} = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{ms} & \text{para } L_{rts} + L_{ms} > 0 \\ L_0 & \text{para } L_{rts} + L_{ms} \leq 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

A atenuação por difração e espalhamento no topo dos edifícios (L_{rts} – Perdas por difração e dispersão do telhado de edificações à rua (*Loss at roof-top-to-street diffraction and scatter*)) é dado por:

$$L_{rts} = -16,9 - 10\log(w) + 10\log(f) + 20\log(\Delta h_m) + L_{ori} \quad (3.15)$$

Sendo:

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354\varphi & \text{para } 0 \leq \varphi < 35^\circ; \\ 2,5 + 0,075(\varphi - 35) & \text{para } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ; \\ 4 + 0,114(\varphi - 55) & \text{para } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ; \end{cases} \quad (3.16)$$

Onde a frequência é sempre dada em MHz e a distância entre T_z e R_x em quilômetros. A variável Δh_m representa a diferença entre a altura dos telhados dos prédios (h_t) e a altura da antena da estação móvel (h_m), todos em metros ($\Delta h_m = h_t - h_m$).

o fator de correção L_{ori} devido à orientação da rua em função do ângulo de incidência φ , como exemplificado na FIGURA 3.10 é dado em decibéis.

Ainda, o ângulo de incidência φ é dado em graus e a largura das ruas w é dado em metros.

O efeito das múltiplas difrações e reflexões ocorridas ao nível da rua é dada pela variável L_{ms} (*Loss at multi-screen diffraction*) seguindo a equação (3.17):

$$L_{ms} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(d) + K_f \log(f) - 9 \log(b) \quad (3.17)$$

Sendo:

- b – Distância entre prédios ao longo do percurso da onda eletromagnética [m];
- K_d – Fator de correção da dependência de L_{ms} com relação à distância d ;
- K_f – Fator de correção da dependência de L_{ms} com relação à frequência f ;
- K_a – Fator de correção devido à diferença de altura entre a antena transmissora e o semiplano de incidência próximo à antena receptora [dB];
- L_{bsh} – Perda devido à diferença de altura entre a antena transmissora e o semiplano de incidência próximo a antena receptora [dB].

Os valores de L_{bsh} , K_a , K_d e K_s podem ser calculados pelas equações (3.18), (3.19), (3.20) e (3.21) respectivamente.

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log(1 + \Delta h_b) & \text{para } h_b > h_t; \\ 0 & \text{para } h_b \leq h_t; \end{cases} \quad (3.18)$$

$$K_a = \begin{cases} 54 & \text{para } h_b > h_t; \\ 54 - 0,8 \Delta h_b & \text{para } d \geq 0,5 \text{ km e } h_b \leq h_t; \\ 54 - 0,8 \Delta h_b \left(\frac{d}{0,5} \right) & \text{para } d < 0,5 \text{ km e } h_b \leq h_t; \end{cases} \quad (3.19)$$

$$K_d = \begin{cases} 18 & \text{para } h_b > h_t; \\ 18 - 15 \left(\frac{\Delta h_b}{h_t} \right) & \text{para } h_b \leq h_t; \end{cases} \quad (3.20)$$

$$K_f = \begin{cases} -4 + 0,7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{para cidades de porte médio;} \\ -4 + 1,5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{para centros metropolitanos;} \end{cases} \quad (3.21)$$

Onde:

- h_b – Altura da antena da estação transmissora [m];
- h_t – Altura dos telhados dos prédios [m];
- Δh_b – Diferença entre as alturas h_b e h_t ($\Delta h_b = h_b - h_t$) [m].

Sendo o valor de L_{ms} determinado através do cálculo com o ângulo de incidência da onda propagante com os semiplanos (topo dos edifícios), caracterizado pelo ângulo α exemplificado na FIGURA 3.9.

Deve-se observar também que o modelo é válido apenas para h_b entre 4 e 50 m, h_m entre 1 e 3 m e d entre 20 m e 5 km.

3.2.4.4 LIMITAÇÕES NO MODELO DE COST 231 – WALFISCH-IKEGAMI

Apesar de ser um modelo proposto para alturas de estações rádio base (h_b) mais altas e mais baixas do que as edificações ao seu redor (h_t), os resultados se mostram cada vez mais imprecisos à medida que se aproxima a altura da antena transmissora da altura das edificações, tornando este modelo ideal apenas para alturas de antena de T_x acima da altura das edificações ($h_b > h_t$).

O modelo COST-Walfisch-Ikegami mostra-se um excelente modelo para frequências entre 900 MHz e 1800 MHz e para distâncias (d) entre 100 m e 3 km, podendo ser aplicado interna e externamente e também para micro e macro células, como dito inicialmente, porém falha ao não contemplar o aspecto vertical de uma onda propagante no que concerne a difração, efeito que ocorre também nas laterais dos edifícios.

Finalmente, este modelo é muito preciso para a área de arruamento porém perde precisão para obstáculos mais altos do que a antena irradiante e para zonas prediais densas.

3.2.5 MODELO DE PATRIOTA84

Como visto anteriormente, os modelos apresentados não contemplam todos os aspectos desejados neste projeto para simulações de propagação eletromagnética.

Mesmo no modelo COST-WI, onde se observa uma grande quantia de dados sendo tratados para a realização de previsões mais apuradas, os resultados não são completos e o efeito de difração nas laterais dos edifícios fica sem abordagem em nenhum dos modelos citados.

Esta dissertação apresenta aqui uma nova contribuição aos modelos anteriormente apresentados ao fazer uma união das modelagens de diversos efeitos de propagação encontrados nos modelos estudados e incluindo a modelagem de perdas por difração em mais de um ponto de cada obstáculo.

Este cálculo de perdas por difração foi realizado como descrito em PETERNELA

(2009, p. 21), com a utilização da formulação da difração por gume de faca baseada no princípio de Huygens exemplificado na FIGURA 3.11, dada pela equação (3.22) aplicada em três pontos diferentes de um mesmo edifício, o topo e as duas laterais.

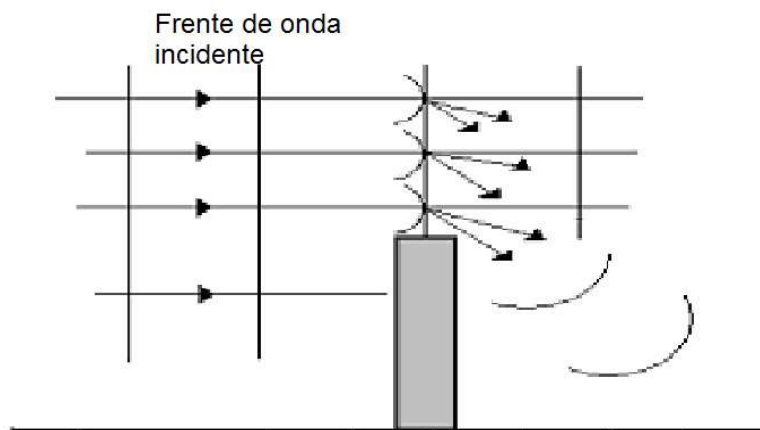


FIGURA 3.11 – PRINCÍPIO DE HUYGENS

FONTE: PETERNELA (2009, p. 21)

$$D_{GF} = -10 \log (10(0,5[0,5 - C(v)]^2 + [0,5 - S(v)]^2)) \quad (3.22)$$

Sendo D_{GF} a difração por gume de faca, v um valor adimensional de correlação entre a onda e as distâncias do obstáculo com as antenas, dado pela equação (3.4) e as funções $C(v)$ e $S(v)$ as integrais de Fresnel dadas pelas equações (3.23) e (3.24)

$$C(v) = \int_0^v \cos \left(\frac{\pi}{2} x^2 \right) dx \quad (3.23)$$

$$S(v) = \int_0^v \sin \left(\frac{\pi}{2} x^2 \right) dx \quad (3.24)$$

As situações mais simples possíveis para difração por gume de faca estão exemplificadas na FIGURA 3.13 e o gráfico de atenuação pelo valor de v é apresentado anteriormente, na FIGURA 3.12.

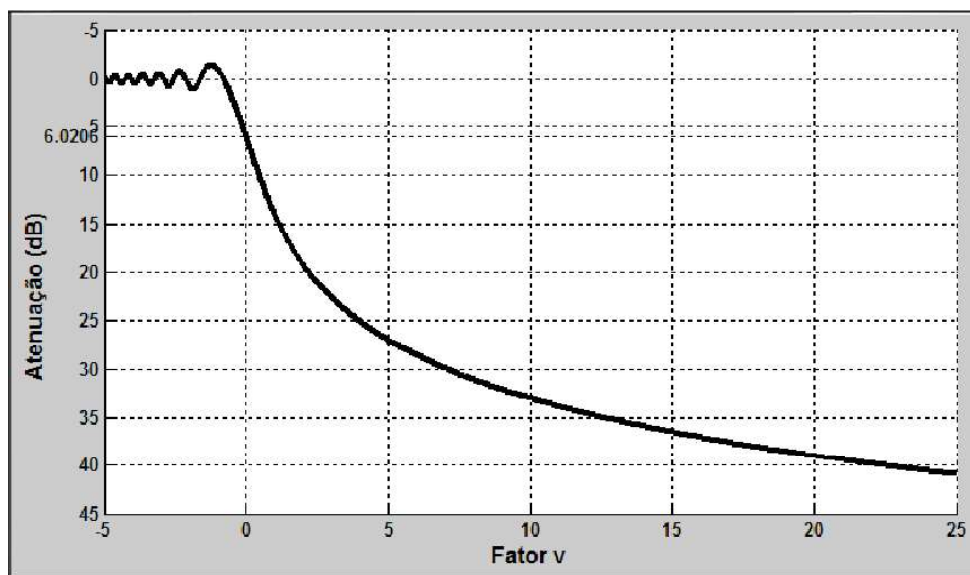


FIGURA 3.12 – ATENUAÇÃO EM dB PELO FATOR v

FONTE: PETERNELA (2009, p. 23)

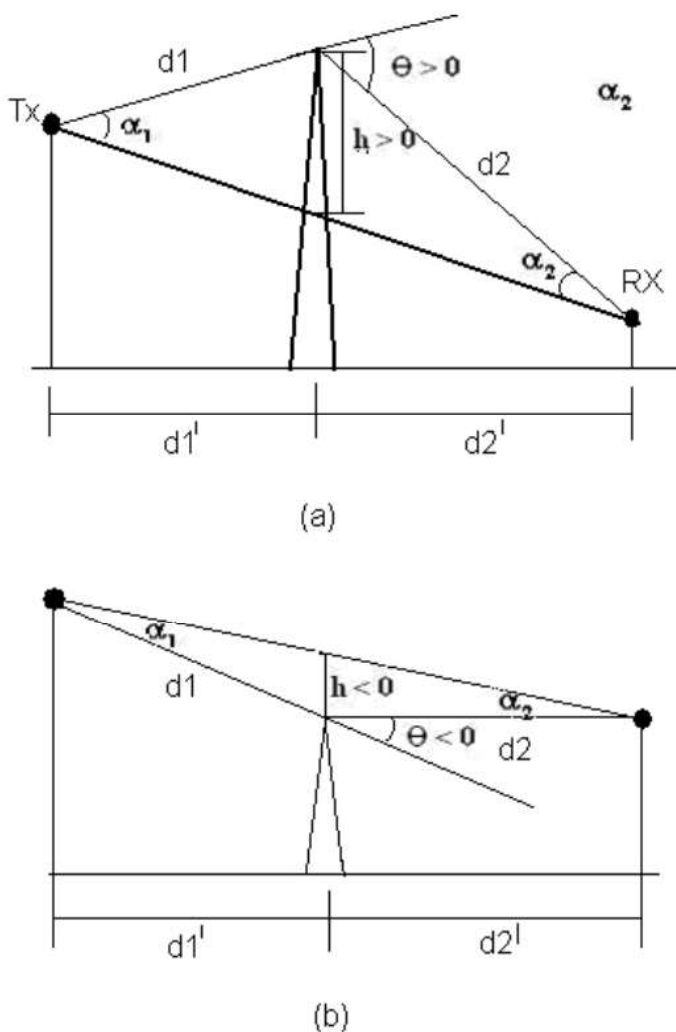


FIGURA 3.13 – DIFRAÇÃO POR GUME DE FACA

FONTE: PETERNELA (2009)

Como se observa no gráfico da FIGURA 3.12, os valores de D_{GF} passam a ser mais lineares a partir de $v = -0,78$, que corresponde a uma obstrução de 60% da primeira zona de Fresnel. Como para valores acima deste, a atenuação por difração é desprezível, pode-se aproximar a equação (3.22) para a equação (3.25).

$$D_{GF} = 6,9 + 20 \log \left[\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right] \quad (3.25)$$

Deve-se observar que para um valor de $h = 0$ (obstáculo tangenciando a linha de visada), pela equação (3.4) o valor de $v = 0$ faz com que a perda por difração seja igual a 6 dB.

Como a proposta é de contabilizar três fenômenos de onda num mesmo ponto

de recepção, esta formulação segue a recomendação da União Internacional de Telecomunicação (ITU), no qual deve-se considerar que a soma de três fontes transmissoras virtuais (os pontos de difração) se dá de forma inversamente linear, como em uma ligação de resistores em paralelo.

Aplicando-se esta recomendação da ITU para os três lados de um edifício que pode gerar difração, encontra-se a formulação dada em PETERNELA (2009), mostrada na equação (3.26).

$$At_{DPV} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{10^{-10} D_{S1}} + \frac{1}{10^{-10} D_{L1}} + \frac{1}{10^{-10} D_{L2}}} \right) \quad (3.26)$$

Esta equação calcula a atenuação resultante (At_{DPV}) de três diferentes difrações, chamada de atenuação Peternela-Vivaldi-Reggiani (PETERNELA, 2009).

Tais difrações são as ocorridas no topo dos obstáculos (D_{S1}) e as difrações nas laterais esquerda e direita dos mesmos (D_{L1} e D_{L2}). Estas três difrações são calculadas pela equação (3.25).

Como para esta equação apenas os valores de v se alteram, e em uma situação real, não apenas um obstáculo se encontra entre o Tx e o Rx . Desta forma, para cada um dos lados, será considerada a primeira e a última obstrução que interrompem a linha de visada, gerando-se uma única obstrução equivalente para fins de cálculo.

Por fim, para a idealização do novo modelo, aplica-se o desenvolvimento acima com base na formulação COST-WI dada na equação (3.14) com algumas modificações importantes.

Primeiramente adiciona-se um fator de ajuste ao ambiente de propagação do modelo, a fim de se calibrar o modelo com dados reais do enlace. Segundo, o modelo será híbrido, contendo partes empíricas e estatísticas. Sendo assim, para cada área o modelo apresentará uma formulação diferente, dividido em três áreas principais: região interna às quadras, arruamentos com visada direta e arruamentos sem visada direta.

Este tipo de divisão faz-se necessária para a cidade de Curitiba devido à sua característica de cidade semiplanejada, na qual existem poucas ruas radiais e circunferências, mas muitas ruas perpendiculares e paralelas. Desta forma fica possível a previsão mais precisa de zonas de sombreamento e níveis de sinal nos arruamentos e interiores de quadras.

Outra consideração importante é que sendo o modelo de COST-WI um modelo que já leva em consideração a difração no topo dos edifícios, a formulação final receberá a equação (3.26) de atenuação Peternela-Vivaldi-Reggiani com a retirada da componente de

difração no topo dos edifícios, resultando na formulação da perda por difração nas laterais dos obstáculos (L_{sts} – perda por difração nas laterais dos obstáculos) dada pela equação (3.27).

$$L_{sts} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{10^{-\frac{D_{L1}}{10}}} + \frac{1}{10^{-\frac{D_{L2}}{10}}}} \right) \quad (3.27)$$

Finalmente, o modelo proposto final levará em conta os ganhos das antenas de transmissão e recepção e ainda a potência de transmissão, para que o resultado final consista em um valor de potência de recepção em dBm.

Segue abaixo a formulação proposta.

- O valor médio da potência recebida para regiões internas de quadras em dB é expresso por:

$$P_{Rx} = \alpha + P_0 - \gamma_p \log \left(\frac{r}{r_0} \right) + Af - (L_0 + L_{rts} + L_{ms} + L_{sts}) \quad (3.28)$$

Observar que nesta formulação, γ_p é o decaimento parcial da atenuação de propagação dado em [dB/década] pois existem outras atenuações contabilizadas separadamente na mesma.

- O valor médio da potência recebida para regiões de arruamento com visada direta em dB é expresso por:

$$P_{Rx} = \alpha + Af + G_{efh}(h_e, h_1) - (L_0 + L_{rts} + L_{ms} + L_{sts}) \quad (3.29)$$

- O valor médio da potência recebida P_{Rx} para regiões de arruamento sem visada direta em dBm é expresso por:

$$P_{Rx} = \alpha + Af - (L_0 + L_{rts} + L_{ms} + L_{sts}) \quad (3.30)$$

A potência de recepção no ponto de interseção é dada em dBm e a variável α é o fator adimensional de ajuste ao ambiente dado pela equação (3.31):

$$\alpha = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_{1p}} \right) + 20 \log \left(\frac{h_1}{h_{1p}} \right) + 10 \log \left(\frac{h_2}{h_{2p}} \right) + (G_r - G_{rp}) + (G_m - G_{mp}) \quad (3.31)$$

- P_t – Potência de emissão da estação - base [W];

• P_{tp} – Potência de emissão padrão da estação - base [W];

–Valor padrão: $P_{tp} = 10$ W;

• h_1 – Altura da antena da estação base [m];

• h_{1p} – Altura padrão da antena da estação base [m];

–Valor padrão: $h_{1p} = 30$ m;

• h_2 – Altura da antena do móvel [m];

• h_{2p} – Altura da antena padrão do móvel [m];

–Valor padrão: $h_{2p} = 3$ m;

• G_r – Ganho da antena da estação - base [dBi];

• G_{rp} – Ganho padrão da antena da estação - base [dBi];

–Valor padrão: $G_{rp} = 6$ dBi;

• G_m – Ganho da antena do móvel [dBi];

• G_{mp} – Ganho padrão da antena do móvel [dBi];

–Valor padrão: $G_{mp} = 0$ dBi;

• γ_p – Decaimento parcial da atenuação de propagação ou fator parcial de rugosidade do terreno [dB/década];

• r – Distância entre a estação base e o móvel [km];

• r_0 – Distância entre a estação base e o ponto de interseção [km];

• Af – Fator de ajuste da frequência segundo o modelo de Lee dado por:

$$Af = -30 \log \left(\frac{f}{850} \right) \quad (3.32)$$

– f – Frequência da portadora [MHz];

• $G_{effh}(h_e, h_1)$ – Ganho associado à altura efetiva da antena dado por:

$$G_{effh} = 20 \log \left(\frac{h_e}{h_1} \right)$$

- $-h_e$ – Altura efetiva da antena [m];
- $-h_1$ – Altura real da antenas da estação base [m];
- L_0 – Atenuação em espaço livre [dB];
- L_{rts} – Atenuação por difração e espalhamento no topo de edifícios [dB];
- L_{ms} – Atenuação por múltiplas difrações e reflexões ocorridas ao nível da rua [dB];
- L_{sts} – Atenuação por difração nas laterais dos edifícios [dB];

Os cálculos de L_{rts} , L_{ms} e L_{sts} como apresentados anteriormente nas equações (3.15), (3.17) e (3.27):

$$\begin{cases} L_{rts} = -16,9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta hm) + L_{ori} \\ L_{ms} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(d) + K_f \log(f) - 9 \log(b) \\ L_{sts} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{10^{-\frac{D_{L1}}{10}}} + \frac{1}{10^{-\frac{D_{L2}}{10}}}} \right) \end{cases}$$

Para os cálculos de L_{ori} e L_{bsh} , usa-se o mesmo procedimento adotado pelo modelo de COST-WI e os valores de D_{L1} e D_{L2} calculados seguindo a equação (3.25), mostrada anteriormente.

3.3 CONCLUSÃO

Neste capítulo pôde-se conhecer os mais usados modelos de propagação para projetos clássicos e inovadores de RF e ainda foi introduzido uma releitura dos modelos já existentes em comunhão, objetivando suprir todas as necessidades de um projeto complexo em áreas complexas como a do centro da cidade de Curitiba.

Esta nova proposta, o modelo chamado de PATRIOTA84, nada mais é do que uma contribuição para os já existentes modelos de Hata, COST-Walfisch-Ikegami, Peternela-Vivaldi-Reggiani e Lee, utilizando os pontos fortes de cada modelo em conjunto para resultar em uma modelagem mais precisa do comportamento de uma onda eletromagnética em propagação em ambientes complexos, com áreas de arruamento em conjunto com áreas de casas e árvores muito próximas de áreas com grandes edifícios.

Na seção de testes (ver CAPÍTULO 5) esta contribuição aos modelos será posta à prova e os resultados serão comparados com os demais modelos.

REFERÊNCIAS

- ARTUZI Jr, W. A. Finite element time domain method using piecewise constant basis functions. In: INTERNATIONAL MICROWAVE AND OPTOELECTRONICS CONFERENCE, 11^{a.}, 2003, Foz do Iguaçu. **Proceedings of the 2003 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference, 2003. IMOC 2003.** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Microondas e Optoeletrônica, 2003. v. 2, p. 1029–1032.
- BERTONI, H. L. Antennas and radiation. In: _____. **Radio Propagation for Modern Wireless Systems.** Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall Professional Technical Reference, 1999. p. 90–92. ISBN 0130263737.
- CICHON, D. J.; KÜENER, T. Propagation prediction models. In: _____. **Digital mobile radio towards future generation systems: COST 231 Final Report.** Office for Official Publications of the European Communities, 1993. cap. 4, p. 115–208. ISBN 92-828-5416-7. Disponível em: <<http://www.lx.it.pt/cost231/>>. Acesso em: 04 mai. 2010.
- COOPERATION IN SCIENCE AND TECHNOLOGY (COST). **Action 231 – Digital mobile radio towards future generation systems: COST 231 Final Report.** [S.l.], abr 1993. 474 p. Disponível em: <<http://www.lx.it.pt/cost231/>>. Acesso em: 04 mai 2010.
- COOPERATION IN SCIENCE AND TECHNOLOGY (COST). **About COST.** ago 2010. Site. Disponível em: <http://www.cost.esf.org/about_cost>. Acesso em: 28 jan. 2011.
- COOPERATION IN SCIENCE AND TECHNOLOGY (COST). **Information and Communication Technology (ICT).** out 2010. Site. Disponível em: <http://www.cost.esf.org/domains_actions/ict>. Acesso em: 30 jan. 2010.
- HATA, M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 29, n. 3, p. 317–325, ago. 1980.
- IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY SOCIETY COMMITTEE ON RADIO PROPAGATION, USA. Coverage prediction for mobile radio systems operating in the 800 / 900 mhz frequency range. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 37, n. 1, p. 3–72, fev. 1988.
- IKEGAMI, F.; YOSHIDA, S. Analysis of multipath propagation structure in urban mobile radio environments. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 28, p. 531–537, 1980.
- IKEGAMI, F. et al. Propagation factors controlling mean field strength on urban streets. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 32, p. 822–829, 1984.
- LEE, W. C.; YEH, Y. S. On the estimation of the second-order statistics of log normal fading in mobile radio environment. **IEEE Transactions on Communication**, v. 22, p. 869, jun. 1974.
- LEE, W. C. Y. Cochannel interference reduction by using a notch in tilted antenna pattern. In: IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY SOCIETY, 35^{a.}, 1985. **35th IEEE Vehicular Technology Conference, 1985.** [S.l.], 1985. v. 35, p. 67–72.

LEE, W. C. Y. Estimate of local average power of a mobile radio signal. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 34, p. 22, fev. 1985.

LOW, K. Comparison of urban propagation models with cw-measurements. In: IEEE, 42^o., 1992, Denver, CO , USA. **IEEE 42nd Vehicular Technology Conference, 1992**: Frontiers of technology from pioneers to the 21st century. [S.l.]: IEEE, 1992. v. 2, p. 936–942. ISBN 0780306732.

OKUMURA, Y. et al. Field strength and its variability in vhf and uhf land-mobile radio service. **Review Electrical Communications Laboratory**, Musasino-si, Tokyo, Japan, v. 16, p. 825–873, 1968.

OLIVEIRA, R. M. S. **Método FDTD Aplicado na Análise da Propagação Eletromagnética em Ambientes Indoor e Outdoor**. 59 f. Trabalho de conclusão de curso — Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, fev. 2003. Disponível em: <<http://www.lane.ufpa.br/publicacoes/tcc-rodrigo.pdf>>.

PEREIRA, M. A. B. **Análise de Modelos de Propagação na Área Urbana da Região de Curitiba - PR na Faixa de Frequência de 1800 MHz**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Agosto 2007.

PETERNELA, A. L. **Modelo de propagação considerando difração no topo e nas laterais dos obstáculos**. 66 f. Dissertação (Dissertação) — Pontifícia Inuversidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Campinas, São Paulo, Brasil, 2009.

WALTISCH, J.; BERTONI, H. L. A theoretical model of uhf propagation in urban environments. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 36, 12, p. 1788–1796, 1988.

CAPÍTULO 4 BASE DE DADOS

4.1 INTRODUÇÃO

Em projetos de rádio enlace, uma das técnicas indispensáveis é a modelização do ambiente e da onda propagante.

Ao tratar sobre modelos de propagação, foram tratados as modelizações da onda propagante de acordo com o meio (vide CAPÍTULO 3), entretanto não foram abordados os aspectos específicos da modelização da área em estudo, também chamada de base de dados da região.

A classificação e correlação dos dados em uma base de dados morfológica e topográfica ficam diferenciadas de acordo com o modelo de propagação usado. Alguns modelos utilizam bases de dados simplificadas e com poucas informações, como o tipo de cobertura do terreno e classificações em terreno urbano, suburbano ou rural.

Como visto anteriormente, os modelos que não se utilizam de muitos dados para seus cálculos são em sua maioria de pouco interesse neste estudo. Existem alguns modelos que exigem bases de dados muito mais sofisticadas, com informações de altura dos objetos, distâncias entre eles, largura de ruas, entre outras informações.

O modelo PATRIOTA84 destina-se a simulações de rádio propagação com bases de dados sofisticadas como mencionado acima e para que sejam feitas as simulações de propagação propostas de forma gratuita, torna-se necessário também uma base de dados gratuita com mapas contendo um alto grau de complexidade de informações de morfologia e topografia da região em estudo.

Para se obter esta base de dados, foi utilizado a base de dados do Google Maps API (GOOGLE, 2009a) com algumas manipulações nas imagens e dados obtidos para a correta utilização no projeto.

4.2 GOOGLE MAPS API

As interfaces com os bancos de dados do Google Maps API foram cruciais para o desenvolvimento deste projeto com baixo custo operacional e de implantação.

Para se compreender o Google Maps API é necessário se entender o funcionamento de uma API.

API, *Application Programming Interface* ou interface de programação de aplicações, é um conjunto de instruções e padrões de programação para acesso a um aplicativo

de programa baseado na internet. (ROOS, 2007)

A Google Maps API é um serviço gratuito cujo objetivo é fornecer uma forma fácil de incluir em páginas de internet e programas informações de localização e roteamento em mapas com formatos diversos, desde representações gráficas de mapas rodoviários até fotos de satélite com dados sobre a região, pontos de grande importância local, arruamento, entre outras informações.

O conjunto de API do Google Maps contempla pacotes de interface para diversas linguagens de programação e diversos tipos de serviços. Existem as seguintes APIs:

- Google Maps JavaScript API;
- Google Maps API for Flash;
- Google Earth API;
- Google Static Maps API;
- Serviços da web:
 - Geocoding API;
 - Directions API;
 - Elevation API;
 - Places API;
- Google Maps Data API;

Até o presente momento, dentre as APIs citadas, o projeto PRORAD utiliza as seguintes ferramentas:

- Google Static Maps API (GOOGLE, 2009b)
- Google Maps API Serviços da Web: (GOOGLE, 2009c)
 - Google Geocoding API (GOOGLE, 2009d)
 - Google Elevation API (GOOGLE, 2010)

A seguir, as ferramentas usadas serão descritas em seu funcionamento dentro do projeto.

4.2.1 GOOGLE STATIC MAPS API

Em sua versão 2, a Google Static Maps API (GOOGLE, 2009b) é uma interface direta com todos os mapas em duas dimensões, chamados de mapas estáticos, da base de dados do Google Maps.

A ferramenta de fornecimento de mapas estáticos do Google funciona através de solicitações por Localizador-Padrão de Recursos (URL) compostas pela indicação do protocolo, neste caso o HTTP, seguido de dois pontos e duas barras, o endereço do servidor, o caminho e o recurso solicitado:

PROTOCOLO://SERVIDOR/CAMINHO/RECURSO

Um exemplo prático desta estrutura de solicitação pode ser:

```
http://maps.google.com/maps/api/staticmap?&center=-25.431571,-49.260764&zoom=
15&size=640x640&mapttype=hybrid&style=feature:all|element:labels|visibility:
off&sensor=false
```

O exemplo dado pode ser dividido em:

- Protocolo: **HTTP**
- Servidor: **maps.google.com**
- Caminho: **maps/api/**
- Recurso: **staticmap?¢er=-25.431571,-49.260764...**

No campo recurso são descritos os parâmetros de como o mapa deverá ser apresentado, separados pelo símbolo **&**. Para o exemplo dado, as seguintes opções foram solicitadas:

- Tipo de recurso: **staticmap?**
- Local central do mapa em latitude e longitude: **center=-25.431571,-49.260764**
- Nível de aproximação: **zoom=15**
- Tamanho da imagem: **size=640x640**
- Tipo de mapa: **mapttype=hibrid**
- Personalização do mapa: **style=feature:all|element:labels|visibility:off**

•Indicação de uso de GPS: **sensor=false**

Com esta interface de solicitação por URL, é possível obter mapas das áreas de projeto com dimensões de até 640x640 pixels (0,41 megapixels). Existem ainda opções de níveis de zoom com os quais é possível visualizar a Terra toda ou um único elemento no mapa, do local geográfico dos pontos no mapa em latitude e longitude, do tipo de mapa com opções de fotos de satélite ou esquemáticos e opções de personalização do mapa para visualizar arruamentos, nomes dos locais, mudar esquema de cores e ocultar determinados objetos no mapa.

Os níveis de zoom são números inteiros que vão de 0 (zero) a 21+ (vinte e um mais), sendo o 0 (zero) o nível mais abrangente, retornando uma imagem de todos os continentes, e o 21+ (vinte e um mais) o máximo de aproximação. Partindo do nível zero, cada nível de zoom subsequente dobra a precisão nas dimensões horizontal e vertical, sendo o nível 21 (vinte e um) o de precisão de 2,36 metros por centímetro de imagem.

Para compor uma boa imagem dos elementos em um terreno, é necessária uma imagem com nível de zoom igual a 21. Como só é possível obter fotos de até 640x640 pixels, apenas uma área de 38,15 por 38,15 metros será obtida, como exemplificado na FIGURA 4.1, redimensionada em 70% de seu tamanho original apenas a título de adequação ao formato impresso desta dissertação.



FIGURA 4.1 – FOTO DE SATÉLITE DO GOOGLE STATIC MAPS COM RESOLUÇÃO DE 640X640 PIXELS E ZOOM 21

FONTE: GOOGLE (2009b)

NOTA: ESTA IMAGEM FOI GERADA COM A URL <[HTTP://MAPS.GOOGLE.COM/MAPS/API/STATICMAP?&CENTER=-25.431571,-49.260764&ZOOM=21&SIZE=640X640&MAPTYPE=HYBRID&STYLE=FEATURE:ALL|ELEMENT:LABELS|VISIBILITY:OFF&SENSOR=FALSE](http://maps.google.com/maps/api/staticmap?¢er=-25.431571,-49.260764&zoom=21&size=640x640&maptype=hybrid&style=feature:all|element:labels|visibility:off&sensor=false)>

Para que uma grande área seja obtida com grande resolução de imagem, é necessário compor uma figura de várias imagens lado a lado. Na TABELA 4.1 são mostrados alguns dados sobre as imagens de 640x640 pixels que se pode obter na Google Maps API e sua comparação com o nível de zoom 21 usado neste projeto para que se possa compreender como a composição da imagem grande é feita.

TABELA 4.1 – DADOS DE IMAGENS DE 640X640 PIXELS DO GOOGLE MAPS API

Nível de zoom	Quantidade equivalente em imagens com zoom 21	Tamanho equivalente se composta por imagens de zoom 21 [pixels]	Dimensões área de cobertura da image [m]
21	1	640 x 640	38,15 x 38,15
20	4	1280 x 1280	76,30 x 76,30
19	16	2560 x 2560	152,60 x 152,60
18	64	5120 x 5120	305,20 x 305,20
17	256	10240 x 10240	610,40 x 610,40
16	1024	20480 x 20480	1220,80 x 1220,80
15	4096	40960 x 40960	2441,60 x 2441,60
14	16384	81920 x 81920	4883,20 x 4883,20
12	65536	163840 x 163840	9766,41 x 9766,41
11	262144	327680 x 327680	19532,81 x 19532,81
10	1048576	655360 x 655360	39065,63 x 39065,63
9	4194304	1310720 x 1310720	78131,25 x 78131,25
8	16777216	2621440 x 2621440	156262,50 x 156262,50
7	67108864	5242880 x 5242880	312525 x 312525
6	268435456	10485760 x 10485760	625050 x 625050
5	1073741824	20971520 x 20971520	1250100 x 1250100
4	4294967296	41943040 x 41943040	2500200 x 2500200
3	17179869184	83886080 x 83886080	5000400 x 5000400
2	68719476736	167772160 x 167772160	10000800 x 10000800
1	$2,74878 \times 10^{11}$	335544320 x 335544320	20001600 x 20001600
0	$1,09951 \times 10^{12}$	671088640 x 671088640	40003200 x 40003200

FONTE: O AUTOR (2011)

A fim de se obter a imagem que cubra uma área suficientemente grande para o teste do modelo proposto, e com uma boa qualidade de imagem, utilizam-se 1024 figuras com o nível de zoom em 21 e a resolução máxima para criar o mapa final.

Como observado na TABELA 4.1, devido ao comportamento de progressão geométrica que o parâmetro zoom tem na API em questão, 1024 figuras de zoom em 21 equivale a uma figura de zoom 16. Tais figuras dispostas em uma matriz quadrada, criam uma imagem completa da região pretendida com 32x32 imagens de 640x640 pixels, resultando em dimensões de 20480x20480 pixels (aproximadamente 400 megapixels) e resolução de

72 dpi (pontos por polegada).

Para exemplificar esta imagem, as FIGURAS 4.2 e 4.3 apresentam um mapa de zoom 16 da região de estudo. Este mapa tem dimensões de 640x640 pixels porém mesma área de cobertura da imagem final criada pela matriz de figuras explicado anteriormente.



FIGURA 4.2 – FOTO DE SATÉLITE DO GOOGLE STATIC MAPS COM RESOLUÇÃO DE 640X640 PIXELS E ZOOM 16 SEM ARRUEAMENTO

FONTE: GOOGLE (2009b)

NOTA: ESTA FIGURA FOI GERADA COM A URL <[HTTP://MAPS.GOOGLE.COM/MAPS/API/STATICMAP?&CENTER=-25.431571,-49.260764&ZOOM=16&SIZE=640X640&MAPTYPE=SATELLITE&SENSOR=FALSE](http://maps.google.com/maps/api/staticmap?¢er=-25.431571,-49.260764&zoom=16&size=640x640&maptype=satellite&sensor=false)>

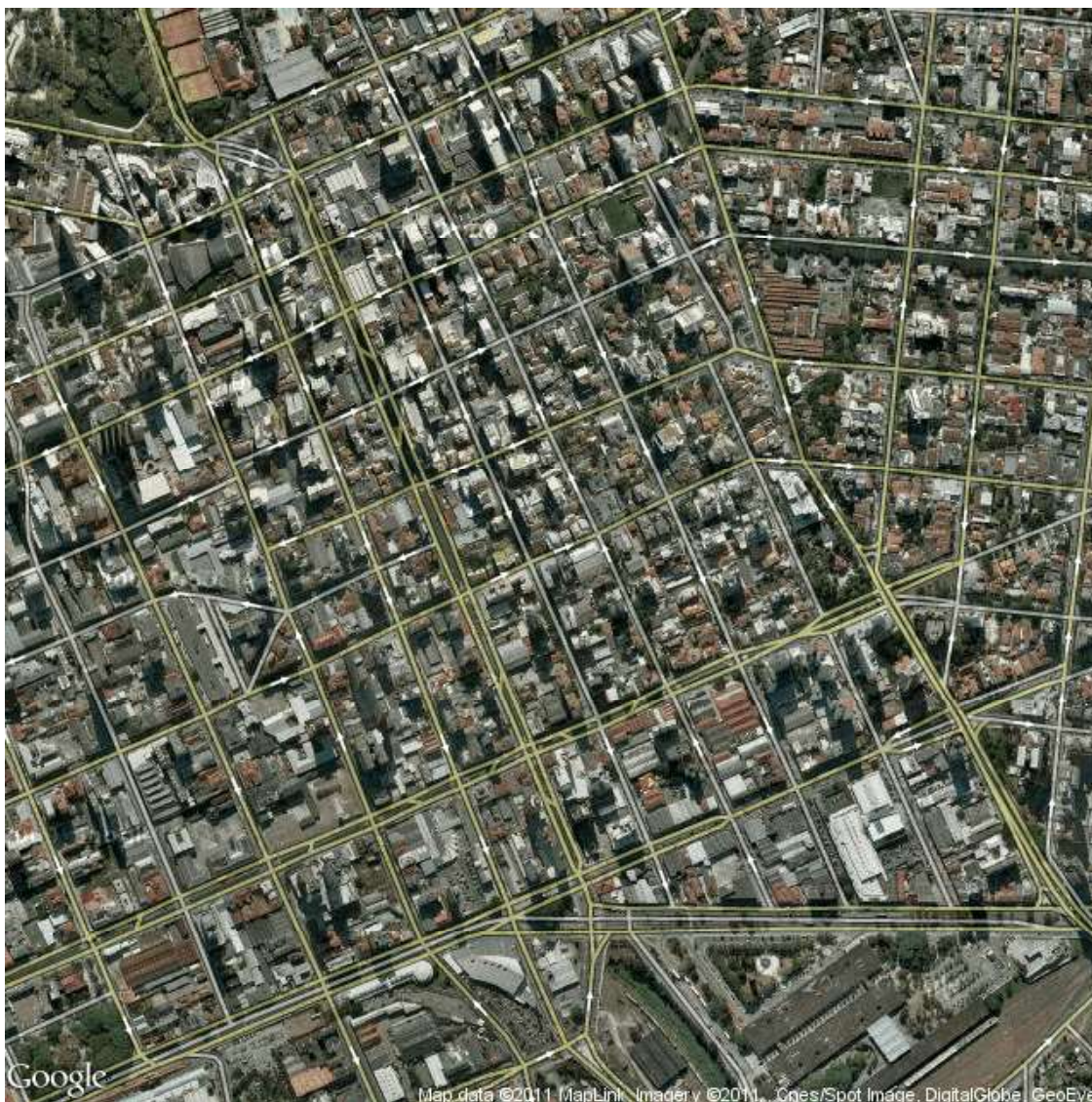


FIGURA 4.3 – FOTO DE SATÉLITE DO GOOGLE STATIC MAPS COM RESOLUÇÃO DE 640X640 PIXELS E ZOOM 16 COM ARRUAMENTO

FONTE: GOOGLE (2009b)

NOTA: ESTA FIGURA FOI GERADA COM A URL <[HTTP://MAPS.GOOGLE.COM/MAPS/API/STATICMAP?&CENTER=-25.431571,-49.260764&ZOOM=16&SIZE=640X640&MAPTYPE=HYBRID&STYLE=FEATURE:ALL|ELEMENT:LABELS|VISIBILITY:OFF&SENSOR=FALSE](http://maps.google.com/maps/api/staticmap?¢er=-25.431571,-49.260764&zoom=16&size=640x640&maptype=hybrid&style=feature:all|element:labels|visibility:off&sensor=false)>

Como toda base de dados em alta resolução de grandes áreas georeferenciadas, o resultado final desta matriz de figuras é um arquivo com aproximadamente 1 GB se as imagens da composição estiverem no formato sem compressão TIFF (*Tagged Image File Format* - Formato de alta resolução e definição de cores para imagens digitais) e de aproximadamente 300 MB caso a imagem seja composta de arquivos no formato PNG (*Portable Network Graphics* - Formato livre de dados utilizado para imagens com alta compressão e

sem perda de qualidade).

Como se pode observar nas FIGURAS 4.2 e 4.3, a região do CCI é representada na região noroeste das figuras, bem como parte do parque Passeio Público com seu lago a noroeste, rodoferroviária ao sul e área elevada (início do bairro Alto da Rua XV da cidade de Curitiba) a nordeste das imagens.

A área total coberta pelas imagens das FIGURAS 4.2 e 4.3 é de aproximadamente 1,5 km² (área quadrada de 1220,80 m de lado)

Além dos parâmetros zoom e size explicados aqui, outras opções foram usadas para que os mapas para a base de dados ficassem como desejado. Alguns tipos de mapas facilitam a compilação da base de dados, como um mapa somente com o arruamento dado no exemplo da FIGURA 4.4.



FIGURA 4.4 – MAPA ESQUEMÁTICO DE ARRUAMENTO DO GOOGLE STATIC MAPS COM RESOLUÇÃO DE 640X640 PIXELS E ZOOM 16 DA MESMA ÁREA DO MAPA ANTERIOR

FONTE: GOOGLE (2009b)

NOTA: ESTA FIGURA FOI GERADA COM A URL <[HTTP://MAPS.GOOGLE.COM/MAPS/API/STATICMAP?&CENTER=-25.431571,-49.260764&ZOOM=15&SIZE=640X640&STYLE=FEATURE:ALL|ELEMENT:ALL|VISIBILITY:OFF&STYLE=FEATURE:ROAD|ELEMENT:GEOMETRY|VISIBILITY:ON&SENSOR=FALSE](http://maps.google.com/maps/api/staticmap?¢er=-25.431571,-49.260764&zoom=15&size=640x640&style=feature:all|element:all|visibility:off&style=feature:road|element:geometry|visibility:on&sensor=false)>

4.2.2 GOOGLE MAPS API SERVIÇOS DA WEB

A API do Google Maps oferece algumas funcionalidades especiais como informações de logradouro dado um determinado par de coordenadas geográficas (Google Geocoding API) ou sobre altitudes de um determinado conjunto de coordenadas (Google Elevation API).

Estas facilidades permitiram ao projeto PRORAD oferecer ao usuário informações sobre o local em estudo e também facilitaram a introdução de locais das antenas através da informação de nomes de ruas e números e não apenas de latitude e longitude.

A seguir, as facilidades utilizadas no projeto PRORAD são descritas no tocante ao seu funcionamento e utilidade.

4.2.2.1 GOOGLE GEOCODING API

Esta ferramenta do Google Maps API permite que sejam decodificados coordenadas geográficas em informações completas sobre a localidade, desde nome da rua e o número exato, nome do bairro, cidade, estado e país até informações sobre eventuais pontos turísticos do local, nomes de edifícios entre outros.

Da mesma forma que a API de mapas estáticos explicada anteriormente, esta API se utiliza de solicitações por URL com opções diversas sobre o que se pretende obter de informação e retorna um arquivo em formato XML (*Extensible Markup Language* - Linguagem de marcação padronizada a fim de facilitar o compartilhamento de informações através da internet) ou JSON (*JavaScript Object Notation* - Formato em linguagem de programação javascript de descrição de objetos).

Uma solicitação ao Geocoding API deve seguir o seguinte modelo:

`http://maps.googleapis.com/maps/api/geocode/output?parameters`

Onde **output** deve ser substituído pelo formato desejado da informação (JSON ou XML) e **parameters** deve ser substituído pelas opções de informação desejadas. Tais parâmetros podem ser opcionais ou obrigatórios, seguindo as descrições dadas na TABELA 4.2.

TABELA 4.2 – PARÂMETROS DE SOLICITAÇÃO DO GOOGLE GEOCODING API

PARÂMETRO	OBRIGATORIEDADE	DESCRIÇÃO
address	sim (se não houver latlng)	Endereço a ser geocodificado em latitude e longitude. Ex.: address=Curitiba.
latlng	sim (se não houver address)	Par ordenado de latitude e longitude a ser geodecodificado no endereço mais próximo. Ex.: latlng=-25.431571,-49.260764.
bounds	não	Define dois pontos geográficos no qual a pesquisa na base de dados deve estar localizada a fim de se especificar uma localidade cujo nome pode coincidir com outras regiões. Ex.: bounds=34.172684,-118.604794 34.236144,-118.500938.
region	não	Código de duas letras que caracterizam uma determinada região no formato ccTLD (<i>Contry code top-level domain</i> - Código de região usado na internet). Ex.: region=br para Brasil.
language	não	Idioma das informação a serem retornadas. Ex.: language=pt-BR
sensor	sim	Valor <i>true</i> ou <i>false</i> que indica o uso de uma antena GPS ou não para entrada dos dados de localização. Ex.: sensor=false

FONTE: (GOOGLE, 2009d)

Para o projeto PRORAD optou-se pela utilização do formato XML de resposta pois seu processamento pelo MatLab é realizado de forma direta e as informações são convertidas em variáveis estruturadas, facilitando a criação da base de dados do projeto.

Dois tipos de solicitações são normalmente feitas pelo PRORAD, uma com o endereço do logradouro e outra com as coordenadas geográficas do local.

Utilizando um endereço físico, a solicitação poderia ser como no exemplo abaixo:

<http://maps.googleapis.com/maps/api/geocode/xml?address=515+Franciso+Torres,+Curitiba,+PR&sensor=false>

A resposta a esta solicitação é dada no formato XML cujo código fonte é dividido em campos de dados relativos ao tipo de informação, como bairro, CEP, nome de rua, número do local, estado, país, entre outros.

4.2.2.2 GOOGLE ELEVATION API

Esta facilidade oferecida pelas APIs do Google Maps é de grande importância para o projeto PRORAD pois permite a criação de uma base de dados com informações de elevação do terreno em estudo.

Para que uma análise preliminar de um projeto de rádio enlace seja feita, é necessário a verificação da visada entre o transmissor e seus receptores. A existência de relevo altera significativamente o projeto, fazendo com que retransmissores ou até o remanejamento dos próprios transmissores aconteça.

A API Google Elevation permite recuperar a informação de elevação do terreno ao longo de um caminho determinado ou a elevação em um determinado ponto específico.

O formato de solicitação da informação segue o mesmo padrão do Google Geocoding API, explicado anteriormente, porém com algumas modificações no servidor de destino e nas opções. A URL tem o seguinte formato:

<http://maps.googleapis.com/maps/api/elevation/outputFormat?parameters>

Da mesma forma que na API do Google Geocode, a área **outputFormat** pode receber os valores **json** ou **xml** e em **parameters** os valores da TABELA 4.3. Para o projeto PRORAD, o formato de saída usado foi em XML pela facilidade de uso no MatLab.

TABELA 4.3 – PARÂMETROS DE SOLICITAÇÃO DO GOOGLE ELEVATION API

PARÂMETRO	OBRIGATORIEDADE	DESCRIÇÃO
locations	sim (se não houver path)	Um ou mais pares de latitude e longitude os quais retornarão as elevações nos mesmos. Ex.: locations=40.714728,-73.998672 -34.397,150.644.
path	sim (se não houver locations)	Dois pares ordenados de latitude e longitude a serem interligados em linha reta para que amostras de elevação sejam retornadas dentro deste caminho. Ex.: path=40.714728,-73.998672 -34.397,150.644.
samples	sim (se houver path)	Número de amostras a serem recuperadas com dados de elevação em um dado percurso pelo parâmetro path. Ex.: samples=10.
sensor	sim	Valor <i>true</i> ou <i>false</i> que indica o uso de uma antena GPS ou não para entrada dos dados de localização. Ex.: sensor=false

FONTE: (GOOGLE, 2010)

Com estes poucos dados pode-se encontrar as informações de altitude de um determinado terreno. A FIGURA 4.5 ilustra o uso desta API em conjunto com a API Google Chart Tools (não usada neste projeto) e a FIGURA 4.6 mostra o uso desta API de elevação em conjunto com a API do Google Static Maps para ilustrar o caminho calculado e com o uso de um gráfico do MatLab para mostrar a elevação do terreno ao longo do caminho.

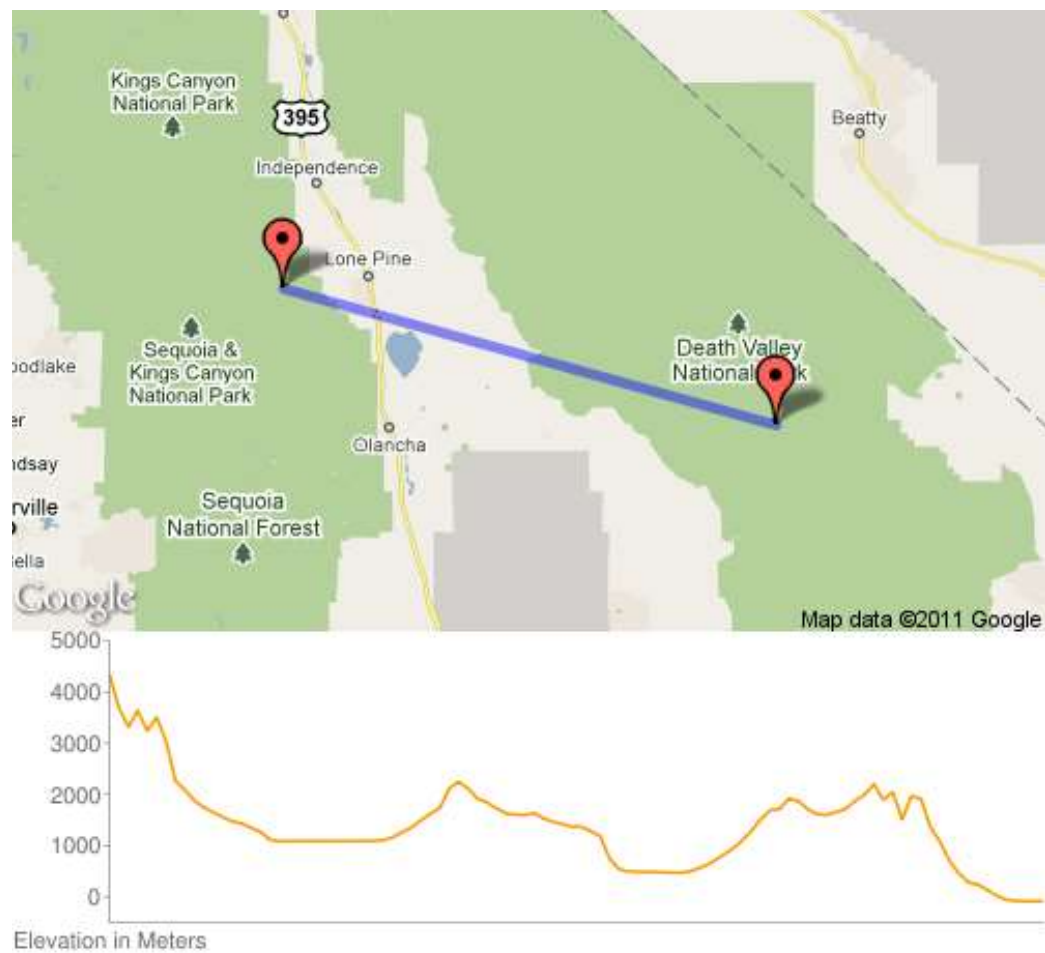


FIGURA 4.5 – EXEMPLO DE USO CONJUNTO DO GOOGLE STATICMAPS API COM GOOGLE ELEVATION API E GOOGLE CHART TOOLS

FONTE: GOOGLE (2010)

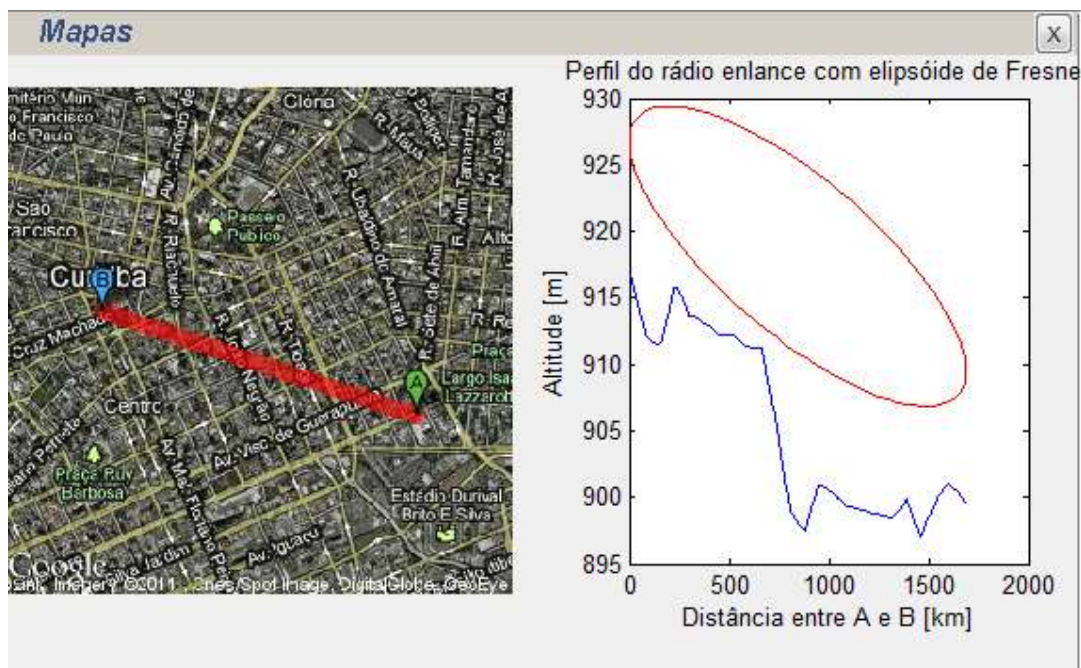


FIGURA 4.6 – EXEMPLO DE USO CONJUNTO DO GOOGLE STATICMAPS API COM GOOGLE ELEVATION API DENTRO DA FERRAMENTA PRORAD

FONTE: O AUTOR

Como os dados de elevação são recuperados apenas ao longo de um determinado percurso, para projetos de rádio enlaces ponto-multiponto é necessário inúmeros caminhos formando uma matriz de pontos de elevação, a qual forma uma base de dados de elevação geral do terreno em estudo.

4.3 CRIAÇÃO DA BASE DE DADOS GEORREFERENCIADA

Para a criação da base de dados a ser usada no programa PRORAD, todas as ferramentas do Google Maps API descritas acima foram utilizadas em conjunto com ferramentas do MatLab.

A base de cálculo da região passou a ser um mapa pequeno da região em questão, o qual foi georeferenciado (colocação de pontos conhecidos do mapa com seus pares ordenados de latitude e longitude) e usado para comparação com a base de dados geral.

A base de dados geral apresenta-se como uma matriz de imagens do Google StaticMaps API que abrange toda a região em estudo da forma mais detalhada possível. A resolução deste mapa é suficiente para se identificar um poste com precisão em uma rua e sua sombra.

Neste mapa de alta resolução, as informações de elevação em formato de grade

são incluídas e um processo de interpolação preenche todas as áreas sem dados diretos de elevação.

Com estes mapas de base prontos, passa-se a um processo de identificação da imagem e seus componentes através de ferramentas de inteligência artificial (IA). Como a criação desta base de dados não é o objetivo principal desta dissertação, apenas aspectos gerais de sua criação serão abordados a título ilustrativo.

4.3.1 IA APLICADA AO GOOGLE MAPS API

A lógica computacional normalmente se utiliza de limiares de decisão no qual existe um corte abrupto. Ou o objeto é ou não é identificado como pertencente a um determinado grupo. Este tipo de lógica apresenta-se incompleta na identificação de objetos muito parecidos em uma imagem.

Desta forma, o uso de IA se mostra muito mais preciso para este tipo de função.

Neste projeto, foi escolhido para o processo de identificação de componentes da imagem a lógica Fuzzy, a qual permite uma forma de reconhecimento não binário a objetos diversos e muito parecidos introduzindo de uma margem de erro na escolha de pertinência, ou seja, se um determinado objeto pertence em qual porcentagem a um determinado grupo de escolha, como por exemplo se uma fruta amarela de formato comprido pertence ou não ao grupo das bananas.

A FIGURA 4.10 apresenta a diferença primária entre uma ferramenta de decisão de pertinência implementada em lógica binária e outra em lógica Fuzzy. Neste exemplo é interessante observar mais claramente o principal diferencial da lógica Fuzzy, determinar o grau de pertinência e não apenas se o objeto em estudo pertence ou não ao grupo.

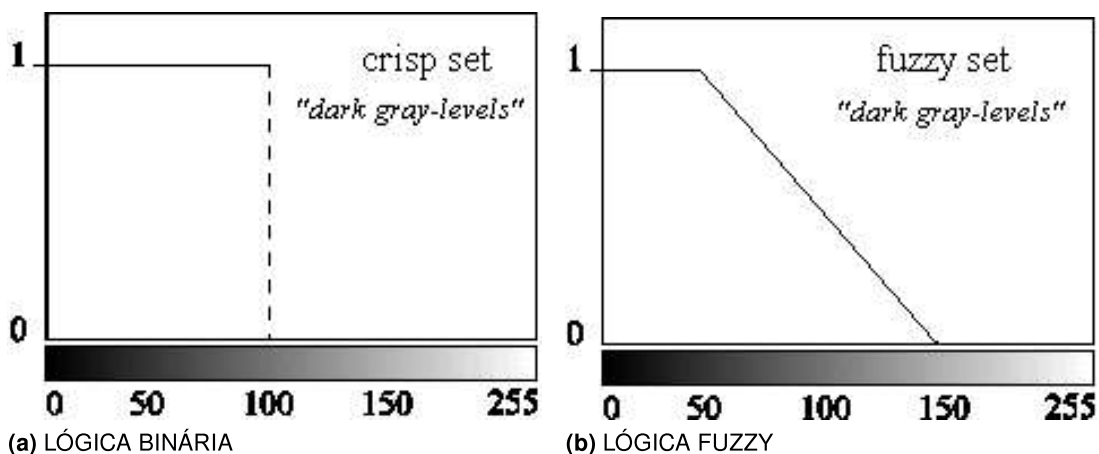


FIGURA 4.10 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA SEPARAÇÃO ENTRE CLARO E ESCURO (“DARK GRAY-LEVELS”) COM (a) LÓGICA BINÁRIA (CRISP SET) E (b) LÓGICA FUZZY (FUZZY SET)

FONTE: TIZHOOSH (1997)

4.3.1.1 LÓGICA FUZZY NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS

A lógica Fuzzy acrescenta uma imprecisão, um grau de pertinência a uma decisão lógica. Este tipo de lógica define se um elemento pertence, não pertence ou pertence parcialmente a um determinado conjunto. Como em uma imagem de satélite, caso em estudo, existem inúmeros elementos parecidos que podem ou não pertencer ao mesmo grupo, esta lógica se torna uma ótima ferramenta de identificação. (GÓIS; CENTENO, 2005)

O uso de lógica Fuzzy para identificação de imagens é chamado de processamento de imagem Fuzzy (FIP).

Em TIZHOOSH (1997) é possível encontrar uma metodologia para o uso da lógica fuzzy em processamento de imagens, bem como sua justificativa. No livro de TIZHOOSH a estrutura geral de um processamento de imagem Fuzzy é definido através da FIGURA 4.11.

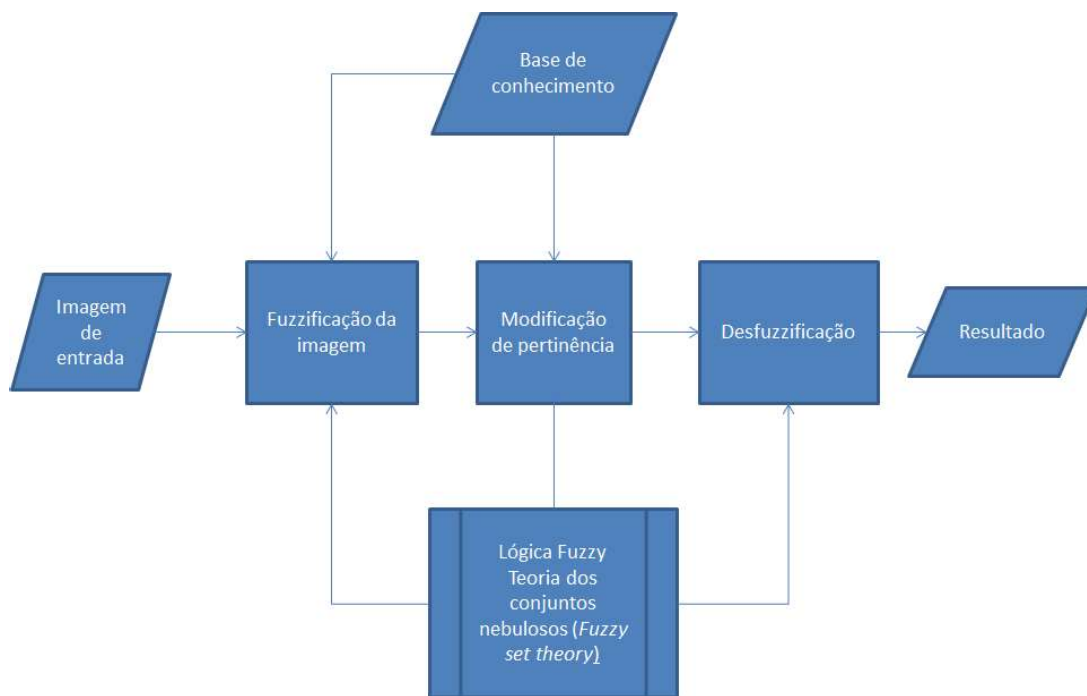


FIGURA 4.11 – ESTRUTURA GERAL PARA PROCESSAMENTO DE IMAGEM FUZZY

FONTE: (TIZHOOSH, 1997)

Através de manipulações e uso de FIP com o mapa da área de estudo, é possível separar os objetos e suas sombras. Ao se fazer a classificação dos objetos identificados em ruas, edificações, postes, árvores/vegetação e água, o restante do processamento passa a ser bastante simples e uma descrição bastante detalhada deste tipo de procedimento pode ser encontrado em BOAVENTURA (2010).

Iniciando-se o estudo da imagem por um poste de altura conhecida (postes na região em estudo de aproximadamente 5 metros de altura) é possível criar uma regra de proporção entre as dimensões da imagem total com as sombras dos objetos identificados. Como o tamanho do poste é conhecido e a sombra do mesmo é identificada e medida, pode-se encontrar as alturas de todos os objetos da imagem.

Tendo as proporções dos objetos, a criação da base de dados passa por um processo de compilação dos objetos tridimensionais que em seguida devem ser validados por um usuário para eventuais correções.

Mesmo a área em estudo não sendo muito grande, a validação e correção da base de dados levou um certo tempo para ser concluída devido ao trabalho manual de comparação com o real e correções.

4.4 CONCLUSÃO

O uso de uma base de dados gratuita é uma grande vantagem deste projeto, pois permite a inclusão de bases de dados em qualquer região do planeta cuja abrangência dos mapas do Google Maps API seja de boa resolução.

Muitas das ferramentas usadas poderão ser alteradas no futuro e o projeto PRO-RAD deve acompanhar tais mudanças a fim de se manter atual e funcional.

Mesmo os mapas mais atuais sendo usados, a base de dados gratuita leva uma grande desvantagem pela demora em sua compilação pois o processo de FIP é bastante demorado em imagens muito grandes e com muitos objetos, que é o caso de fotos de satélite e ainda, durante a fase de validação dos mapas finais, um grande tempo deve ser despendido a fim de se corrigir eventuais erros de identificação de objetos ou de dimensionamento de determinados elementos.

Percebe-se que durante o processo de identificação de objetos muitos erros ocorriam devido a emendas nas imagens de satélite, ao posicionamento diferente das áreas sombreadas por fotos tiradas em horários diferentes do dia que foram emendadas e por erros de cálculo durante a medição do tamanho das áreas sombreadas.

Para a medição de áreas sombreadas deve-se levar em consideração a sobreposição das edificações, o que altera significativamente o tamanho aparente de uma área sombreada. Para se evitar tais erros, os objetos mais ao sul geográfico nas imagens devem ser os primeiros a serem identificados e medidos e então descontados das medições seguintes.

Mesmo tomando o cuidado para se iniciar a medição pelos objetos mais ao sul da imagem, alguns erros ocorreram. Erros principalmente em edifícios pequenos próximos a edifícios grandes, dos quais não se consegue identificar áreas sombreadas pois as mesmas se encontram ocultas pelas sombras de edifícios grandes próximos.

Na área em estudo, tais erros ocorreram em aproximadamente 10% das imagens e puderam ser facilmente corrigidos através do uso de objetos adjacentes como referência em um processo manual de cálculo de dimensões.

Por fim, caso este processo se formalize como oficial para uso no projeto PRO-RAD, algumas correções e melhorias deverão ser feitas tanto na parte de FIP para identificação de contornos como no uso da lógica Fuzzy para classificação e dimensionamento dos objetos identificados por FIP.

REFERÊNCIAS

- BOAVENTURA, I. A. G. **Números fuzzy em processamento de imagens digitais e suas aplicações na detecção de bordas**. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, mar. 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18152/tde-06052010-154227/pt-br.php>>. Acesso em: 15 ago. 2010.
- GÓIS, J. A.; CENTENO, T. M. Integração fuzzy de imagens e dados heterogêneos no auxílio à avaliação de impacto ambiental. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, BR: [s.n.], 2005. p. 3037–3044.
- GOOGLE. **Família do Google Maps API**. Mai. 2009a. Disponível em: <<http://code.google.com/intl/pt-BR/apis/maps/index.html>>. Acesso em: 07 abr. 2010.
- GOOGLE. **Google Static Maps API V2**. Mai. 2009b. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/staticmaps/>>. Acesso em: 07 abr. 2010.
- GOOGLE. **Google Maps API Web Services**. Mai. 2009c. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/webservices/>>. Acesso em: 26 abr. 2010.
- GOOGLE. **Google Maps API Web Services: The Google Geocoding API**. Mai. 2009d. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/geocoding/>>. Acesso em: 10 ago. 2010.
- GOOGLE. **Google Maps API Web Services: The Google Elevation API**. Jun. 2010. Site. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/elevation/>>. Acesso em: 15 jun. 2010.
- ROOS, D. **HowStuffWorks - Como aproveitar melhor uma API para conferências on-line**. nov 2007. Site. Disponível em: <<http://informatica.hsw.uol.com.br/conferencia-api1.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2011.
- TIZHOOSH, H. R. **Fuzzy Image ProcessingFuzzy-Bildverarbeitung: Einführung in Theorie und Praxis**. 1. ed. Springer-Verlag, 1997. ISBN 3540631372. Disponível em: <<http://pami.uwaterloo.ca/tizhoosh/fip.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2010.

CAPÍTULO 5 TESTES E VALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para se comparar modelos de propagação faz-se necessário o uso de ferramentas computacionais específicas para tal fim. Tais ferramentas são apresentadas a seguir.

5.1.1 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

5.1.1.1 FERRAMENTA DE PROJETO MAIS USADA – CELPLANNER

No mercado de telecomunicações, algumas poucas empresas dominam a área de simulação em rádio propagação. A grande maioria das empresas fornecedoras de serviço se utilizam de um conjunto de programas desenvolvido pela empresa CelPlan® (CELPLAN, 2010).

Esta empresa de desenvolvimento tecnológico foi fundada em 1992 por engenheiros eletricitas formados pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) que viram no desenvolvimento de uma plataforma completa para projetos de rádio enlace uma boa oportunidade de negócio.

As ferramentas computacionais desenvolvidas pela CelPlan® são um conjunto de programas que juntos fornecem todos os dados necessários ao projetista. No conjunto de programas, a principal ferramenta é a de planejamento de sistemas sem fio, o CelPlanner, no qual se encontram os modelos de predição e as bases de dados das áreas em estudo pelo projetista.

Apenas com o programa CelPlanner é possível projetar sistemas sem fio complexos, entretanto, como o CelPlanner não é um conjunto de programas e sim parte de um, para se ter um melhor tratamento dos dados do ambiente de propagação é necessário também o programa CelTools, programa que tem a habilidade de extrair, manipular, filtrar e analisar as informações relativas às condições de propagação.

Para fins de redução de custo, o programa Cellink foi criado e funciona sem dependências com o carro chefe da empresa, o CelPlanner. Este programa serve para projetar unicamente enlaces de rádio ponto a ponto com e sem fio, seguindo as normas de qualidade ITU.

Por fim, existe o programa CelOptima, cujo objetivo é otimizar redes já existentes a fim de reduzir interferências, limpar o espectro de frequências do local para inclusão de

novas tecnologias ou até mesmo melhorar o nível de sinal nas zonas de maior utilização.

Além dos pacotes de programas computacionais de projetos de rádio enlaces, a empresa ainda fornece suas próprias bases de dados para o projetista. Dependendo de qual tipo de simulação será feita, a base de dados é mais complexa e, por conseguinte, mas onerosa para o projeto.

Como para se realizar um bom projeto de rádio enlace são necessários os pacotes CelPanner, CelTools e CelOptima e mais o conjunto de base de dados desejado, o custo destas ferramentas se justifica apenas para grandes empresas e projetistas com um fluxo muito grande de projetos complexos de rádio enlace.

Sendo o custo da base de dados e do pacote de programas muito grande, o uso de uma ferramenta como estas para pequenas empresas, projetistas iniciantes no mercado e universitários se torna inviável.

5.1.1.2 FERRAMENTA DE PROJETO EM DESENVOLVIMENTO – PRORAD

Objetivando preencher a lacuna existente no mercado de telecomunicações, um programa tão poderoso quanto o CelPlanner porém gratuito, o projeto PRORAD, inicialmente chamado de Projeto de Rádio Enlace (PRORADEN), foi concebido.

A ferramenta em desenvolvimento, objetiva contemplar todas as características necessárias para projetos de rádio enlace. Desde os cálculos mais primários, como comprimento de onda, largura de banda, zonas de Fresnel, até aspectos mais complexos, como simulações de propagação, tipos de protocolos para os dados, entre outros.

O início do projeto, a fase I, se deu através do desenvolvimento de uma planilha de cálculos básicos de um projeto de rádio enlace que ficou conhecida como PRORADENv1, exemplificado na FIGURA 5.1.

Objetivando um programa complexo e com alta capacidade de processamento, o projeto PRORADEN teve como premissa inicial, ser desenvolvido no programa de processamento matricial MatLab a fim de facilitar a manipulação de bases de dados, possibilidade de criação rápida de uma interface gráfica inicial para o projeto e interação rápida com a internet e ferramentas de georreferenciamento necessárias.

Ainda, com a capacidade de compilar o programa pronto futuramente, a fim de desvincular o programa desenvolvido do MatLab, e contendo inúmeros *toolboxes* implementadas em inteligência artificial, modelos de propagação e cálculos facilitados para telecomunicações, o uso do MatLab como ferramenta de programação principal do projeto foi imprescindível.

PROJETO DE RÁDIOENLACE

Frequência de Trabalho

f = GHz

PASSO 1 - Parâmetros Geométricos - DISTÂNCIA ORTODRÔMICA

Posicionamento geográfica das antenas

		Graus	Minutos	Segundos	Direção
Ponto 1	Lat.	25	27	4.63	S
	Long.	49	14	1.87	W
Ponto 2	Lat.	25	25	56.36	S
	Long.	49	15	37.68	W

Coordenadas geográficas em decimal

	Lat.	Long.	(Em graus)
Ponto 1	-25.4512881111111	-49.2338527777778	
Ponto 2	-25.4323222222222	-49.2604611111111	

Distância Ortodrômica (D)

Δ	0.030609960270	graus
D	3.403627582022	km

Escolha da Frequência

Normas, resoluções e recomendações

Segundo recomendações ITU, para transporte da quarta hierarquia plesiócrona (E4) para 1920 canais (140Mb/s) e também para transporte da primeira hierarquia síncrona (STM-1) para 2349 canais (155,52 Mb/s), as frequências recomendadas são 4, 6 e 11 GHz.

Como, segundo a Portaria 78/92 da Secretaria Nacional de Comunicações, a faixa entre 2,3 e 2,5 GHz nas capitais é destinada ao SARC para reportagem externa e portanto os serviços fixos devendo ser transferidos para outras faixas nestas regiões, para este projeto cuja frequência inicial seria na faixa dos 2,4 GHz, será alterada para 4 GHz, pois a área pretendida é a capital do estado do Paraná, Curitiba.

Plano de frequências - Canalização

De acordo com a Recomendação F.582.7 da ITU-R e com a Resolução 103/99 da ANATEL, para um trecho único usam-se os seguintes parâmetros de canalização:

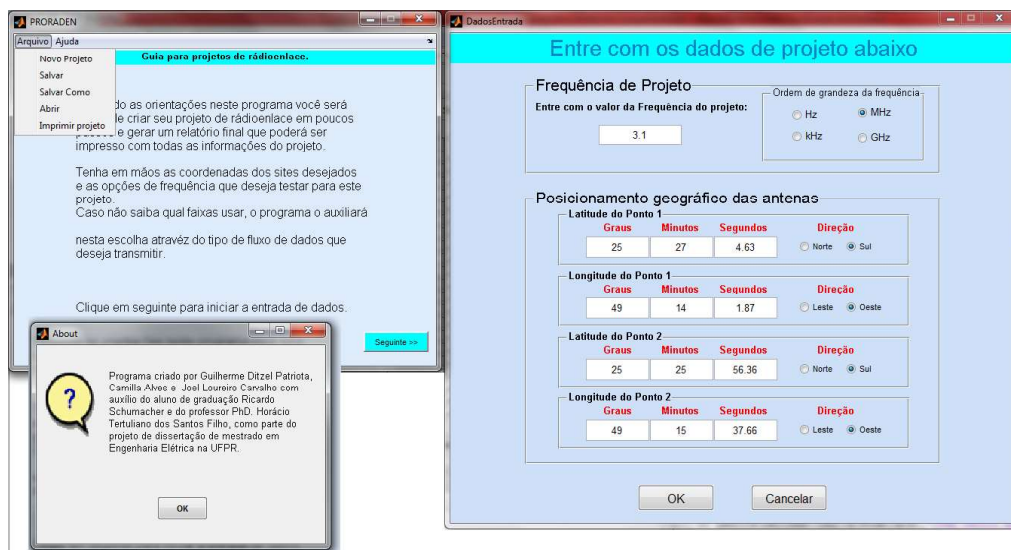
Canal	Ida Fn (MHz)	Volta Fn (MHz)
1	3824.5	4037.5
2	3853.5	4066.5
3	3882.5	4095.5

FIGURA 5.1 – PLANILHA DE CÁLCULOS PRELIMINARES – PRORADEN VERSÃO 1 – FASE I

FONTE: PATRIOTA (2009)

Em sua segunda versão, a fase II do projeto foi marcada pelo desenvolvimento inteiramente em MatLab. O programa PRORADEN, passou a dispor de uma interface gráfica (FIGURA 5.1) simples na qual foram programados os cálculos da fase I do projeto e ainda foram incluídas interfaces com as ferramentas do Google Maps através do uso da interface de programação de aplicações (API) fornecida em GOOGLE (2009a).

Com o uso das APIs do Google Maps foi possível incluir representações gráficas dos locais das antenas e a visada entre elas (FIGURA 5.2) em foto de satélite, como exemplificado na FIGURA 5.2b, através do uso da API descrita em GOOGLE (2009b).



(a) ENTRADA DE DADOS



(b) DADOS DE SAÍDA

FIGURA 5.2 – INTERFACE GRÁFICA PRIMÁRIA – PRORADEN VERSÃO 2 – FASE II – (A) ENTRADA DE DADOS E (B) DADOS DE SAÍDA

FONTE: PATRIOTA (2009)

Sendo a interface gráfica da fase II muito limitada, uma reformulação para inclusão das demais ferramentas pretendidas, como simulação de propagação e testes de diversos pontos de propagação foi feita, iniciando-se assim a fase III.

Iniciada a fase III, mudanças no nome do programa de PRORADEN para PRO-RAD, melhorias na interface gráfica para facilitar a interação com o usuário e inclusão do perfil da ligação com relevo da visada entre antenas e representação da primeira zona de Fresnel graficamente foram os avanços primários. Ainda, novos bolsistas de graduação

foram incluídos no projeto durante esta fase e novas ideias de ferramentas surgiram.

O projeto continua em desenvolvimento constante, já contemplando o modelo de propagação apresentado nesta dissertação. Pretende-se ainda continuar com a inclusão de ferramentas para simulação de propagação diversas ainda não contempladas com possibilidade de ajustes na própria tela de imagem.

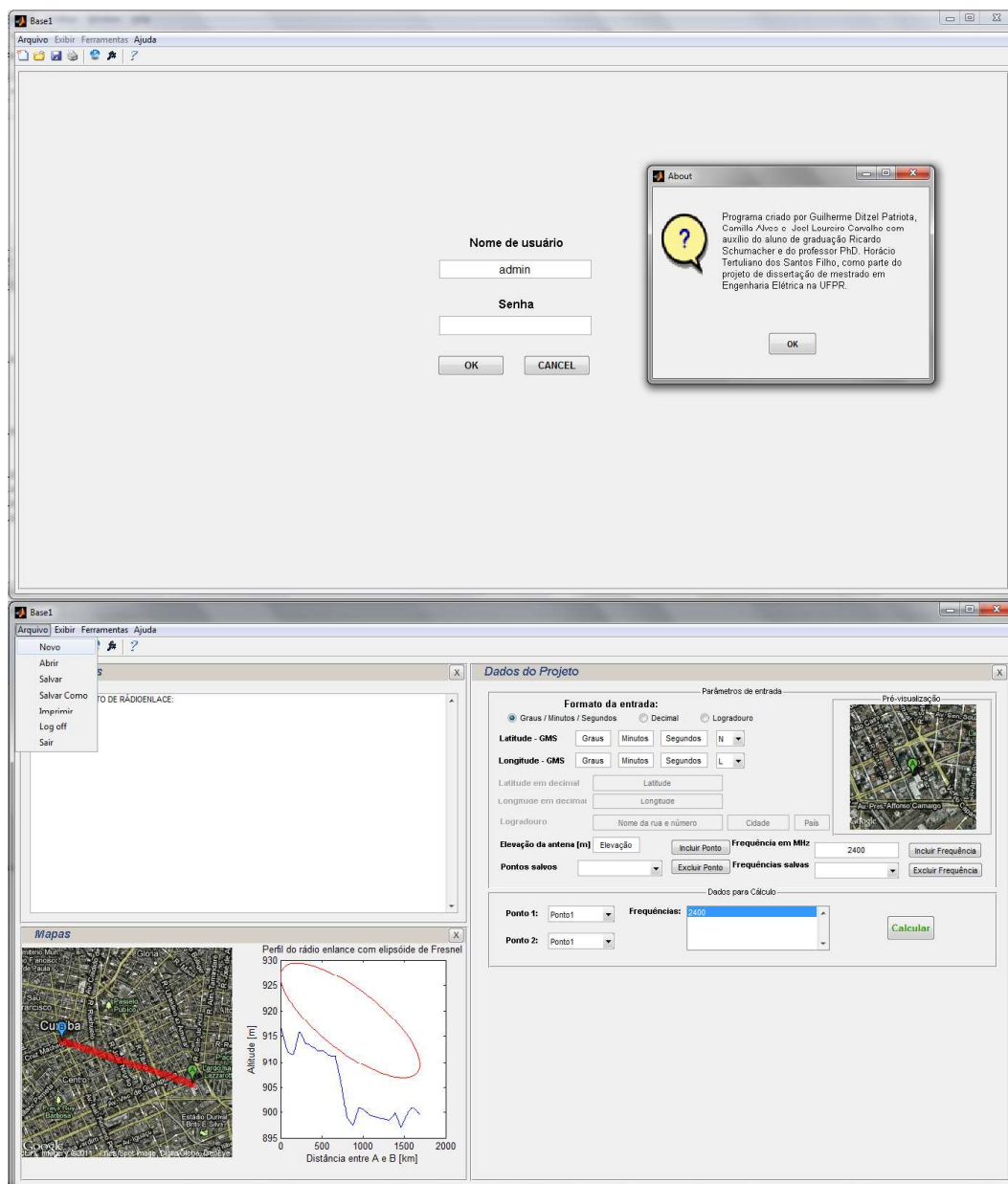


FIGURA 5.3 – INTERFACE GRÁFICA AVANÇADA – PRORAD VERSÃO 3 – FASE III

FONTE: PATRIOTA (2009)

A nova interface (FIGURA 5.3) permitiu a inclusão de ferramentas para aquisição da base de dados de elevação do terreno através da ferramenta Elevation (GOOGLE,

2010) do Google Maps API - Web Services (GOOGLE, 2009c) e cálculo de desobstrução da primeira zona de Fresnel com representação gráfica, exemplificado na FIGURA 5.3.

Ainda, a partir da fase III, foi criada uma solução de inclusão de pontos de irradiação não apenas através de coordenadas geográficas mas também por indicação do endereço postal do local. Nesta facilidade criada, novamente a base de dados gratuita do Google foi utilizada, através da facilidade de geocodificação e geodecodificação (GOOGLE, 2009d).

As ferramentas usadas para compor a base de dados do projeto foram explanadas em capítulo próprio (ver CAPÍTULO 4).

5.2 INTRODUÇÃO AOS TESTES

O modelo PATRIOTA84 nada mais é do que uma contribuição a modelos pré-existentes e por este motivo, procedimentos pré-estabelecidos para determinação dos melhores parâmetros em cada um dos modelos antigos também é válida para o aqui proposto.

Para uma eficiente comparação entre modelos, é necessário uma metodologia padrão e para simulações e comparação de resultados, as medidas e dimensões devem ser igualadas.

Os modelos a serem comparados com a formulação proposta serão os modelos de LEE, COST-WI e ERCEG. A escolha destes modelos se deve a todos terem sua contribuição dentro da formulação proposta nesta dissertação.

É importante observar que a validação deste modelo é dependente da base de dados da região cuja criação foi explicada no CAPÍTULO 4 e será usado o programa PRORAD mencionado anteriormente.

A seguir, a metodologia para testes e comparação de modelos é discutida e alguns pontos importantes na comparação são ressaltados. Ao final, os dados comparativos são apresentados de forma estatística como explicado no procedimento.

5.3 PROCEDIMENTO ADOTADO

Em PEREIRA (2007) uma discussão sobre metodologia na definição de parâmetros de propagação é muito bem discutida e esta metodologia será a utilizada para o projeto PRORAD e portanto, para esta dissertação.

A fim de facilitar o entendimento da metodologia proposta no tocante aos parâmetros e aspectos importantes em projetos de RF o autor PEREIRA (PEREIRA, 2007)

desenvolveu o fluxograma da FIGURA 5.4 que descreve o procedimento para testes.

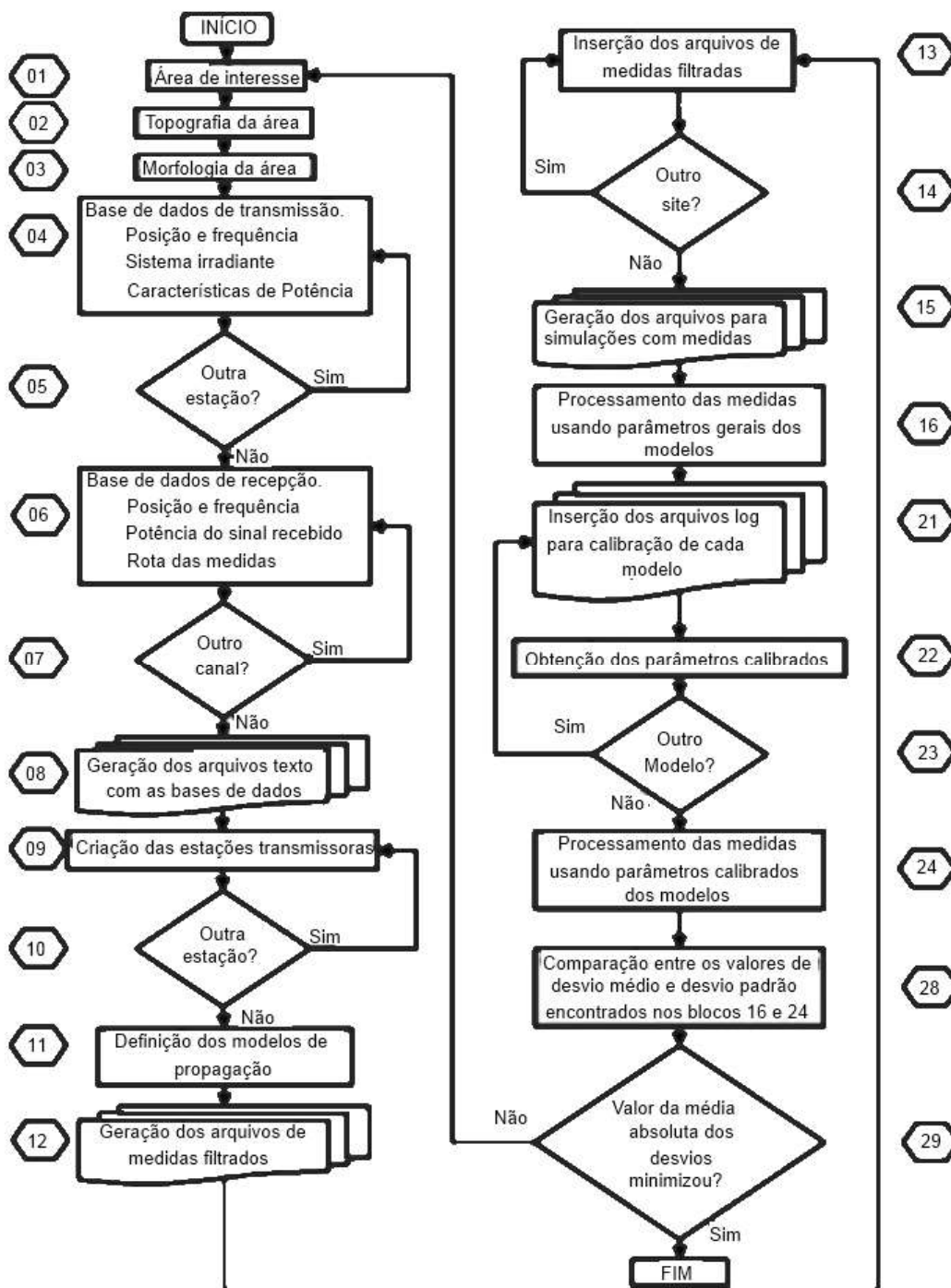


FIGURA 5.4 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA USADA PARA OS TESTES

FONTE: PEREIRA (2007)

O procedimento geral aplica no bloco 16 um processamento de medidas utilizando

os parâmetros gerais de cada modelo testado e este processo é exemplificado no fluxograma da FIGURA 5.5a.

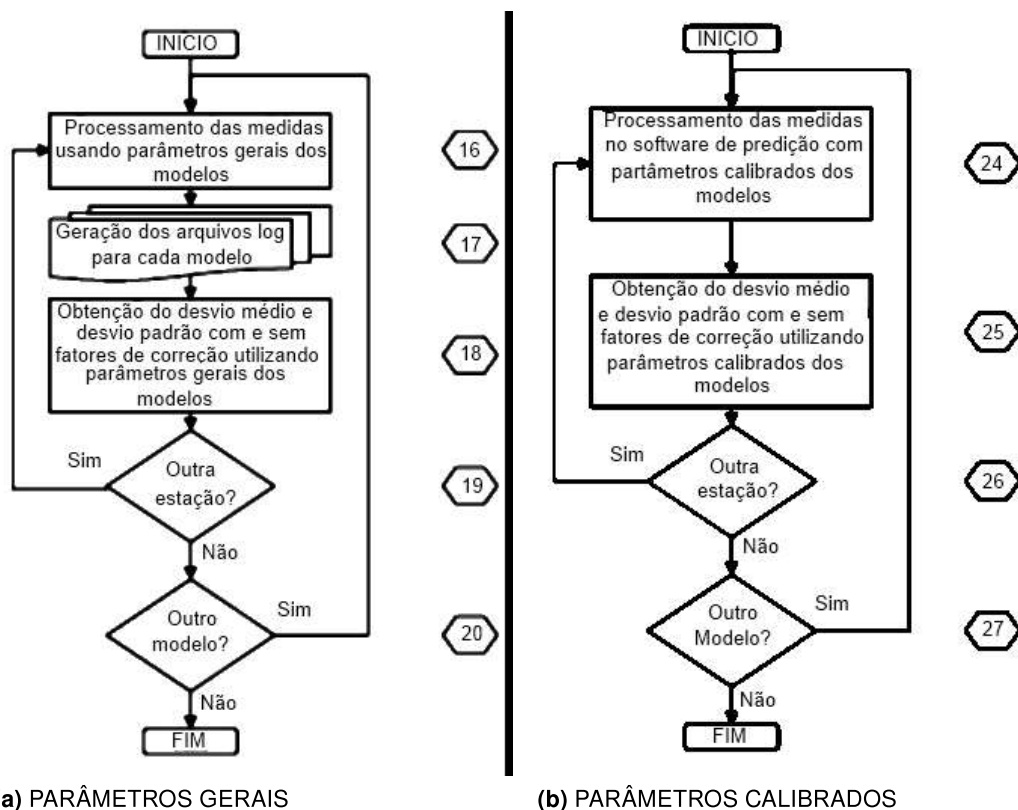


FIGURA 5.5 – FLUXOGRAMA DO BLOCO DE PROCESSAMENTO DE MEDIDAS USANDO (a) PARÂMETROS GERAIS E (b) PARÂMETROS CALIBRADOS DOS MODELOS EM TESTE

FONTE: PEREIRA (2007)

Além do procedimento do bloco 16, o fluxograma da FIGURA 5.4 ainda executa no bloco 24 um processamento de medidas utilizando parâmetros calibrados para cada modelo, o qual é mostrado na FIGURA 5.5b.

Com estes dois processamentos distintos é possível comparar cada modelo em estudo com o seus parâmetros gerais e calibrados a fim de se entender a importância da calibração de cada modelo e também do modelo proposto.

Por fim, cada modelo será simulado no conjunto de dados existentes e uma comparação final será realizada.

5.4 BASE DE DADOS DE TESTE

Para que se possa testar coerentemente, foi necessário a utilização de uma base de dados real (TIM, 2007), fornecida pela operadora de telefonia móvel TIM (*Telecom Italia Mobile*).

Esta base de dados contém dados técnicos completos sobre 24 estações rádio base (ERB) de telefonia celular de tecnologia GSM (*Global System Mobile*) na faixa de frequências de 1800 MHz no centro da cidade de Curitiba, área de interesse deste trabalho e também um banco de medidas com 31493 amostras da potência recebida ao longo de uma rota pré-definida ao longo das ruas presentes na área supracitada. As posições das 24 estações estão mostradas na FIGURA 5.6.

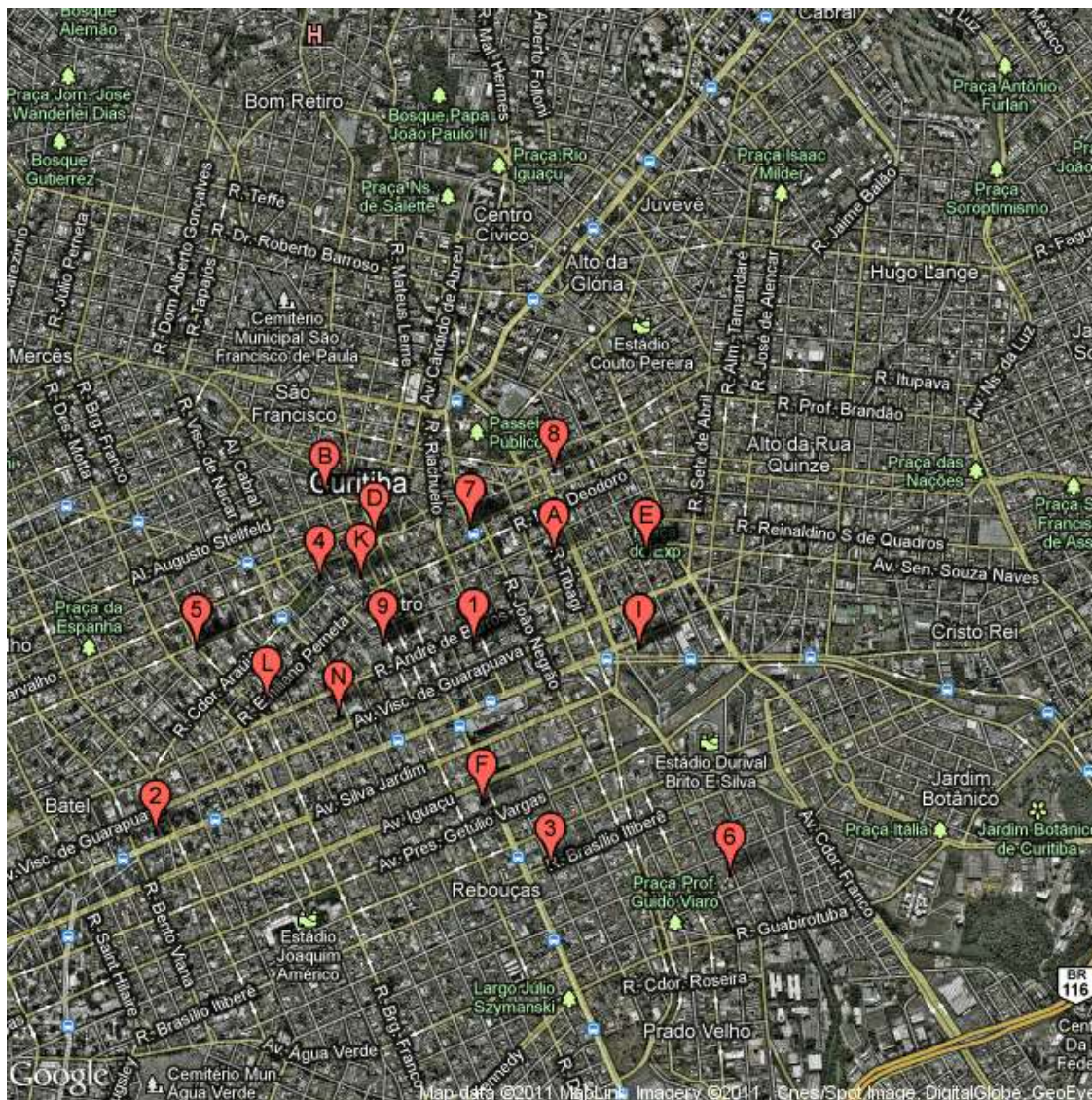


FIGURA 5.6 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES IRRADIADORAS NO CENTRO DA CIDADE DE CURITIBA. ANTENAS M, J, C, G, H E O NA MESMA LOCALIDADE DOS IDENTIFICADORES (ID) DE SEU PAR ORDENADO 1, 5, 7, 9, E E I RESPECTIVAMENTE

FONTE: O AUTOR (2011); TIM (2007); GOOGLE (2009b)

A TABELA 5.1 apresenta as características técnicas gerais das estações fornecida pela TIM mostradas na FIGURA 5.6 para parâmetros geométricos.

TABELA 5.1 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS DAS ESTAÇÕES - PARÂMETROS GEOMÉTRICOS

(continua)

ID	Estação	Nome	Latitude	Longitude	Altitude [m]
1	CTBA01B	BARÃO DO RIO BRANCO	25°26'6,00" S	49°16'3,00" O	900
2	CTBT01A	BATEL	25°26'37,32" S	49°17'0,60" O	922
3	CTRB01A	REBOUÇAS	25°26'42,72" S	49°15'49,32" O	900
4	CTVO01B	VOLUNTÁRIOS DA PÁTRIA	25°25'55,92" S	49°16'31,08" O	900
5	CTBF01A	BRIGADEIRO FRANCO	25°26'7,08" S	49°16'53,04" O	909
6	CTPV01A	PRADO VELHO	25°26'44,16" S	49°15'16,92" O	900
7	CTJN01C	JOÃO NEGRÃO	25°25'47,28" S	49°16'3,72" O	900
8	CTAM01B	AMINTAS DE BARROS	25°25'38,28" S	49°15'48,6" O	900
9	CTDK01A	DAKOTA	25°26'6,36" S	49°16'19,56" O	901
A	CTTE01C	TEATRO GUAÍRA	25°25'51,60" S	49°15'48,6" O	900
B	CTEB01C	ÉBANO PEREIRA	25°25'41,88" S	49°16'30,00" O	920
C	CTJN01B	JOÃO NEGRÃO	25°25'47,28" S	49°16'3,72" O	900
D	CTEU01C	HOTEL EDUARDO VII	25°25'48,72" S	49°16'21,00" O	903
E	CTDF01A	DOUTOR FAIVRE	25°25'51,60" S	49°15'32,04" O	900
F	CTMF01A	MARECHAL FLORIANO	25°26'32,28" S	49°16'1,56" O	901
G	CTDK01C	DAKOTA	25°26'6,36" S	49°16'19,56" O	901
H	CTDF01C	DOUTOR FAIVRE	25°25'51,60" S	49°15'32,04" O	900
I	CTRF01C	RODOFERROVIÁRIA	25°26'7,08" S	49°15'33,12" O	900

TABELA 5.1 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS DAS ESTAÇÕES - PARÂMETROS GEOMÉTRICOS

					(conclusão)
ID	Estação	Nome	Latitude	Longitude	Altitude [m]
J	CTBF01B	BRIGADEIRO FRANCO	25°26'7,08" S	49°16'53,04" O	909
K	CTXV01B	XV DE NOVENBRO	25°25'55,56" S	49°16'23,52" O	900
L	CTEP01A	EMILIANO PERNETA	25°26'15,72" S	49°16'40,44" O	910
M	CTBA01A	BARÃO DO RIO BRANCO	25°26'6,00" S	49°16'3,00" O	900
N	CTVI01A	RUA 24 DE MAIO	25°26'17,88" S	49°16'27,48" O	908
O	CTRF01A	RODOFERROVIÁRIA	25°26'7,08" S	49°15'33,12" O	900

FONTE: PEREIRA (2007)

Como as estações cujos identificadores (ID) são pares ordenados (1,M), (5,J), (7,C), (9,G), (E,H) e (I,O) com as mesmas latitudes e longitudes, o mapa da FIGURA 5.6 mostra apenas o local de cada estação pelo primeiro ID de cada par.

Para esta dissertação serão utilizados apenas algumas estações para facilitar os testes e minimizar a área de estudo.

A área em questão engloba as seguintes estações:

TABELA 5.2 – LOCALIDADES DA ÁREA DE INTERESSE

ID	Estação	Nome
(1,M)	CTBA01B e CTBA01A	BARÃO DO RIO BRANCO
(7,C)	CTJN01C e CTJN01B	JOÃO NEGRÃO
(8)	CTAM01B	AMINTAS DE BARROS
(A)	CTTE01C	TEATRO GUAÍRA
(E,H)	CTDF01A e CTDF01C	DOCTOR FAIVRE
(I,O)	CTRF01C e CTRF01A	RODOFERROVIÁRIA

FONTE: O AUTOR (2011)

A FIGURA 5.7 mostra as localidades (1,M), (7,C), 8, A, (E,H) e (I,O) da área de estudo deste trabalho.

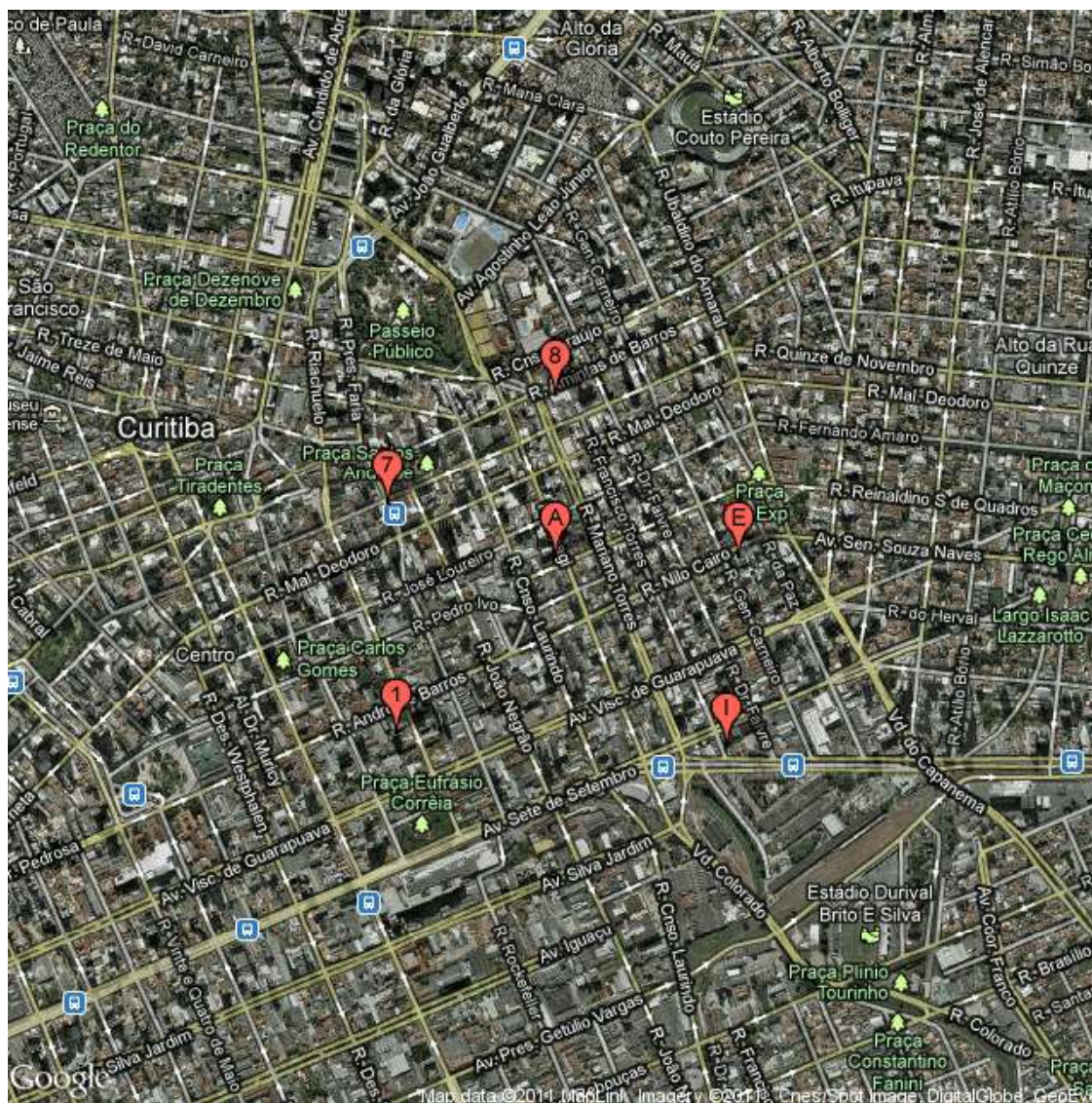


FIGURA 5.7 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES IRRADIADORAS NA ÁREA EM ESTUDO. ANTENAS M, C, H E O NA MESMA LOCALIDADE DOS IDENTIFICADORES (ID) DE SEU PAR ORDENADO 1, 7, E E I RESPECTIVAMENTE

FONTE: O AUTOR (2011); TIM (2007); GOOGLE (2009b)

Na TABELA 5.3 as características técnicas gerais das estações da área em estudo para os parâmetros elétricos são apresentadas.

TABELA 5.3 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS DAS ESTAÇÕES - PARÂMETROS ELÉTRICOS

ID	Estação	Nome	Canal	Frequência de downlink [MHz]
1	CTBA01B	BARÃO DO RIO BRANCO	587	1820,2
7	CTJN01C	JOÃO NEGRÃO	593	1821,4
8	CTAM01B	AMINTAS DE BARROS	594	1821,6
A	CTTE01C	TEATRO GUAÍRA	596	1822,0
C	CTJN01B	JOÃO NEGRÃO	598	1822,4
E	CTDF01A	DOUTOR FAIVRE	600	1822,8
H	CTDF01C	DOUTOR FAIVRE	603	1823,4
I	CTRF01C	RODOFERROVIÁRIA	604	1823,6
M	CTBA01A	BARÃO DO RIO BRANCO	608	1824,4
O	CTRF01A	RODOFERROVIÁRIA	610	1824,8

FONTE: PEREIRA (2007)

Para se prosseguir na caracterização dos equipamentos irradiantes é necessário se conhecer as características técnicas do sistema irradiante de cada estação encontradas nas TABELAS 5.4 e 5.5, bem como o sistema de potência das mesmas dadas na TABELA 5.6.

TABELA 5.4 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA IRRADIANTE DAS ESTAÇÕES - PARTE 1

(continua)

ID	Estação	Azimute [graus]	Tilt elétrico [graus]	Tilt mecânico [graus]	Altura antena [m]	Tipo da antena
1	CTBA01B	120	3	4	47	742212
7	CTJN01C	210	4	2	40	742212
8	CTAM01B	180	4	2	30	742212
A	CTTE01C	240	2	4	30	742212
C	CTJN01B	110	4	4	40	742212
E	CTDF01A	40	2	3	35	742212
H	CTDF01C	280	2	3	35	742212
I	CTRF01C	240	2	4	30	742212

TABELA 5.4 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA IRRADIANTE DAS ESTAÇÕES - PARTE 1

(conclusão)

ID	Estação	Azimute [graus]	Tilt elétrico [graus]	Tilt mecânico [graus]	Altura antena [m]	Tipo antena
M	CTBA01A	350	3	4	47	742212
O	CTRF01A	0	2	4	30	742212

FONTE: PEREIRA (2007)

TABELA 5.5 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA IRRADIANTE DAS ESTAÇÕES - PARTE 2

ID	Estação	Ganho antena [dBi]	Ganho antena [dBd]	Abertura horizontal da antena [graus]	Abertura vertical da antena [graus]	Ponto inicial [m]	Ponto final [m]
1	CTBA01B	17,7	15,55	65	6,7	257	737
7	CTJN01C	17,7	15,55	65	6,7	243	864
8	CTAM01B	17,7	15,55	65	6,7	182	648
A	CTTE01C	17,7	15,55	65	6,7	182	648
C	CTJN01B	17,7	15,55	65	6,7	199	492
E	CTDF01A	17,7	15,55	65	6,7	238	1215
H	CTDF01C	17,7	15,55	65	6,7	238	1215
I	CTRF01C	17,7	15,55	65	6,7	182	648
M	CTBA01A	17,7	15,55	65	6,7	257	737
O	CTRF01A	17,7	15,55	65	6,7	182	648

FONTE: PEREIRA (2007)

TABELA 5.6 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE POTÊNCIA DAS ESTAÇÕES

ID	Estação	Potência do amplificador [dBm]	Perdas nos cabos [dB]	Perdas de transmissão [dB]	Perdas de conexão [dB]	ERP [dBm]	ERP [W]
1	CTBA01B	48,13	4,0	5,7	2	51,9	156,35
7	CTJN01C	48,13	3,6	5,7	2	52,4	172,23
8	CTAM01B	48,13	3,0	5,7	2	53,0	197,75
A	CTTE01C	48,13	3,0	5,7	2	53,0	197,75
C	CTJN01B	48,13	3,6	5,7	2	52,4	172,23
E	CTDF01A	48,13	3,3	5,7	2	52,7	184,55
H	CTDF01C	48,13	3,3	5,7	2	52,7	184,55
I	CTRF01C	48,13	3,0	5,7	2	53,0	197,75
M	CTBA01A	48,13	4,0	5,7	2	51,9	156,35
O	CTRF01A	48,13	3,0	5,7	2	53,0	197,75

FONTE: PEREIRA (2007)

Por fim, dos 31493 pontos de medição da base de dados TIM, somente 18721 pontos estão compreendidos na área em estudo. A FIGURA 5.8 mostra a área em estudo com manchas de representação de potência recebida em cada local. Para que esta imagem fosse gerada pelo PRORAD foi necessário interpretar a base de dados da TIM e unir os pontos com faixas de potência próximas e criar diversas URLs que retornaram imagens do Google Static Maps. Ao se mesclar as imagens, a base de dados final foi ilustrada como na figura em questão.

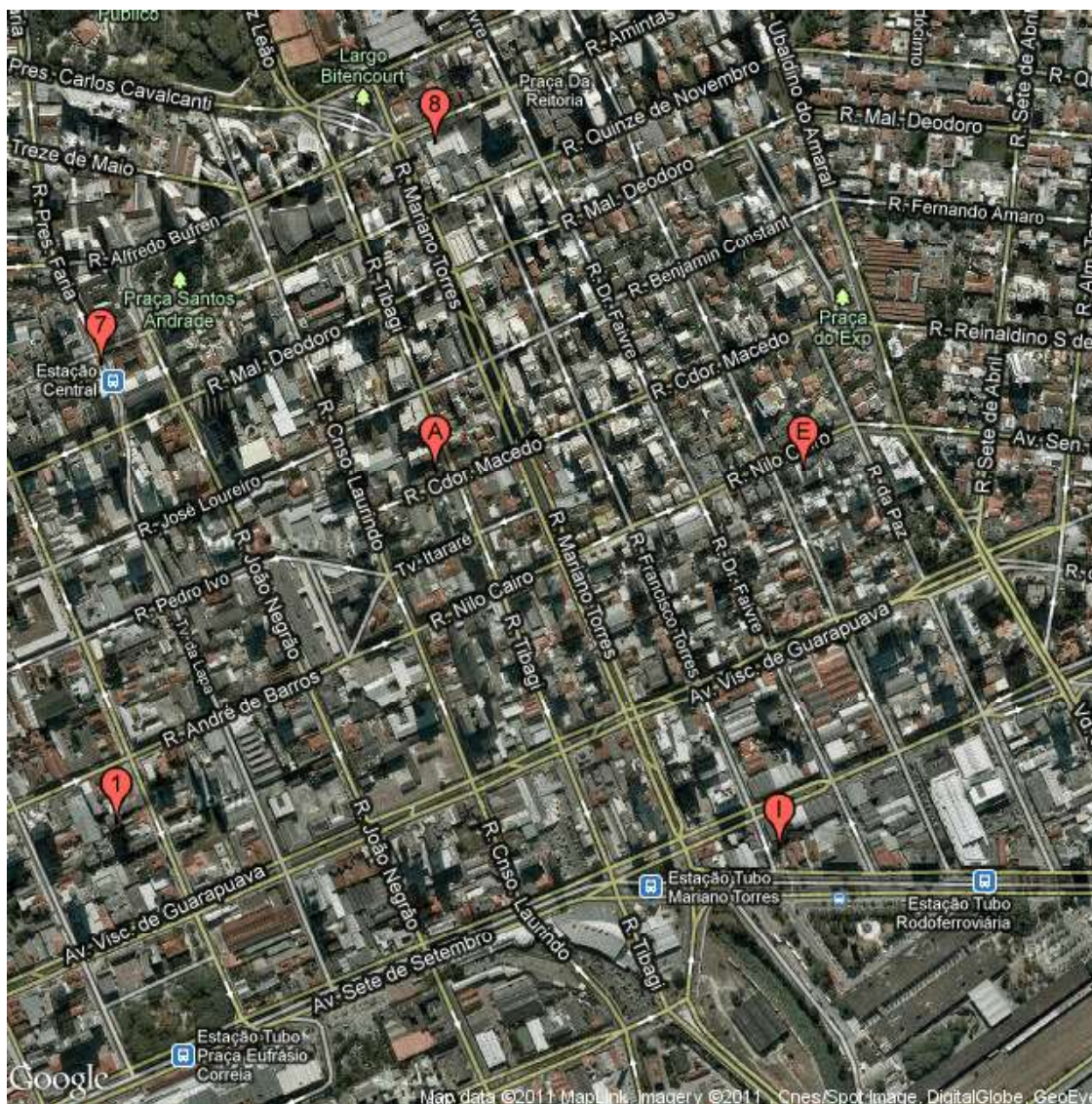


FIGURA 5.10 – ÁREA DE INTERESSE COM REPRESENTAÇÃO DAS LOCALIDADES DAS ANTENAS

FONTE: GOOGLE (2009b); TIM (2007)

NOTA: ESTA IMAGEM FOI GERADA COM A URL <[HTTP://MAPS.GOOGLEAPIS.COM/MAPS/API/STATICMAP?CENTER=-25.4320,-49.2620&MAPTYPE=HYBRID&ZOOM=16&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:1|-25.435,-49.2675&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:7|-25.4298,-49.2677&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:8|-25.4273,-49.2635&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:A|-25.431,-49.2635&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:E|-25.431,-49.2589&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:I|-25.4353,-49.2592&SIZE=640X640&SENSOR=FALSE](http://maps.googleapis.com/maps/api/staticmap?center=-25.4320,-49.2620&maptype=HYBRID&zoom=16&markers=COLOR:RED|LABEL:1|-25.435,-49.2675&markers=COLOR:RED|LABEL:7|-25.4298,-49.2677&markers=COLOR:RED|LABEL:8|-25.4273,-49.2635&markers=COLOR:RED|LABEL:A|-25.431,-49.2635&markers=COLOR:RED|LABEL:E|-25.431,-49.2589&markers=COLOR:RED|LABEL:I|-25.4353,-49.2592&size=640x640&sensor=false)>

5.4.2 BLOCO 02 - TOPOGRAFIA

O segundo bloco do fluxograma de PEREIRA trata da topografia do local. Ao se manipular a URL da API StaticMaps do Google, é possível se conseguir mapas topográfi-

cos com curvas de nível e com elevações representadas um escala de cinza. Ainda, com a API do Google Elevations é possível criar uma matriz de elevações que cubra toda a área em estudo e assim, a topografia do local fica mapeada conforme mostrado nas FIGURAS 5.11 e 5.12.

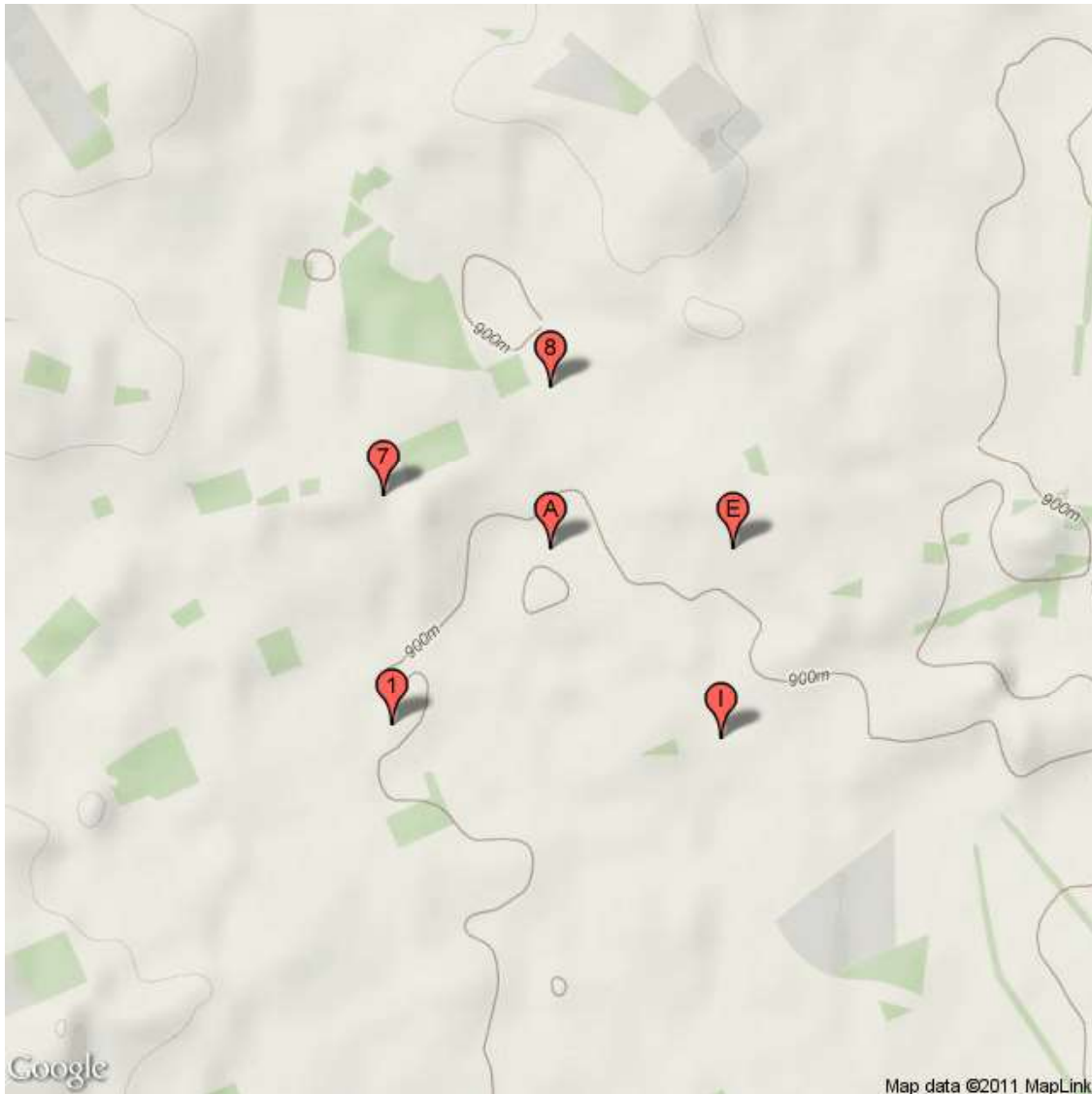


FIGURA 5.11 – TOPOGRAFIA DA ÁREA DE INTERESSE COM ZOOM DE 15 CONTENDO AS ANTENAS DA ÁREA DE INTERESSE

FONTE: GOOGLE (2009b); TIM (2007)

NOTA: ESTA IMAGEM FOI GERADA COM A URL <[HTTP://MAPS.GOOGLEAPIS.COM/MAPS/API/STATICMAP?CENTER=-25.431,-49.2635&MAPTYPE=TERRAIN&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:1|-25.435,-49.2675&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:7|-25.4298,-49.2677&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:8|-25.4273,-49.2635&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:A|-25.431,-49.2635&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:E|-25.431,-49.2589&MARKERS=COLOR:RED|LABEL:I|-25.4353,-49.2592&STYLE=FEATURE:ALL|ELEMENT:ALL|VISIBILITY:OFF&ZOOM=15&SIZE=640X640&SENSOR=FALSE](http://maps.googleapis.com/maps/api/staticmap?center=-25.431,-49.2635&maptype=terrain&markers=color:red|label:1|-25.435,-49.2675&markers=color:red|label:7|-25.4298,-49.2677&markers=color:red|label:8|-25.4273,-49.2635&markers=color:red|label:A|-25.431,-49.2635&markers=color:red|label:E|-25.431,-49.2589&markers=color:red|label:I|-25.4353,-49.2592&style=feature:all|element:all|visibility:off&zoom=15&size=640x640&sensor=false)>

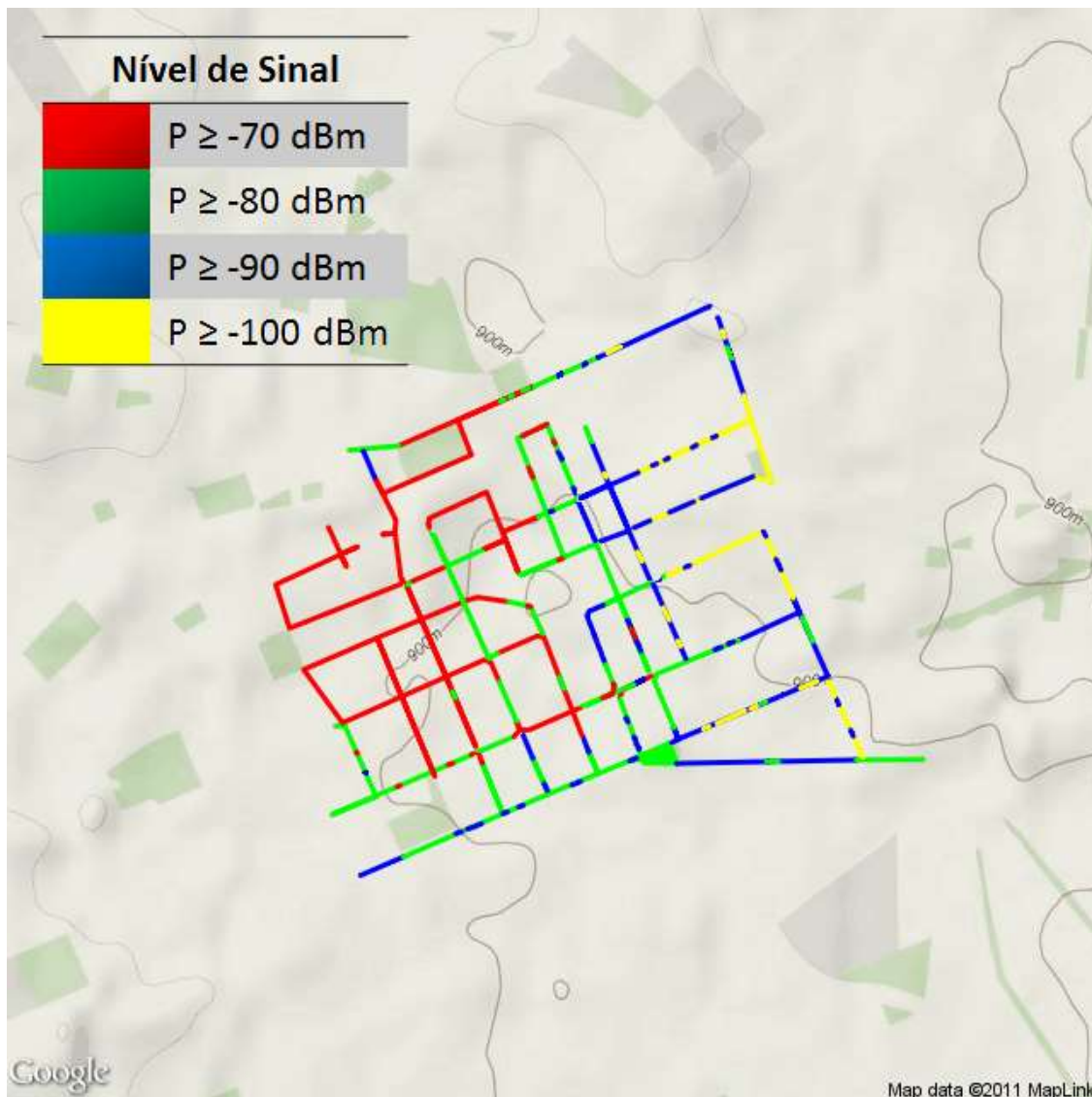


FIGURA 5.12 – TOPOGRAFIA DA ÁREA DE INTERESSE COM ZOOM DE 15 CONTENDO O PERCURSO DE MEDIÇÃO

FONTE: GOOGLE (2009b); TIM (2007)

NOTA: ESTA IMAGEM FOI GERADA COM INÚMERAS URLS

5.4.3 BLOCO 03 - MORFOLOGIA

Seguindo o fluxograma, o bloco 3 diz respeito à morfologia da área. Como visto anteriormente, para se calcular as perdas no percurso cada modelo utiliza um detalhamento diferente da morfologia do terreno (vide CAPÍTULOS 3 e 4). Como a complexidade é muito grande para modelos mais precisos, apenas um exemplo de “manchas morfológicas” se faz viável visualmente e é apresentado na FIGURA 5.13.

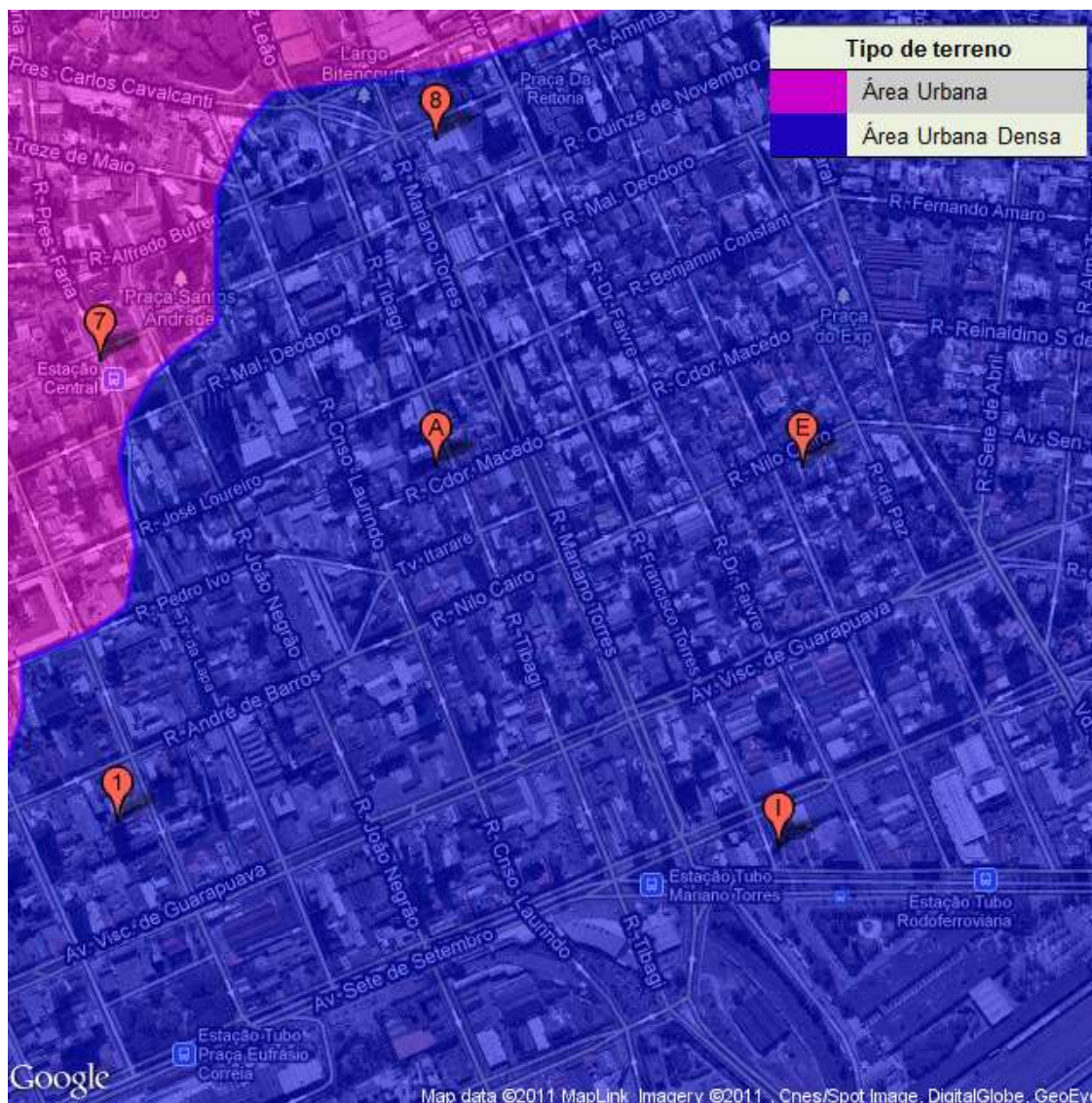


FIGURA 5.13 – MORFOLOGIA DA ÁREA DE INTERESSE COM ZOOM DE 16 CONTENDO OS LOCAIS DAS ANTENAS

FONTE: GOOGLE (2009b); TIM (2007)

NOTA: ESTA IMAGEM FOI GERADA COM A URL MOSTRADA ABAIXO

URL da FIGURA 5.13:

<<http://maps.googleapis.com/maps/api/staticmap?center=-25.4320,-49.2620&mapttype=hybrid&zoom=16&markers=color:red|label:1|-25.435,-49.2675&markers=color:red|label:7|-25.4298,-49.2677&markers=color:red|label:8|-25.4273,-49.2635&markers=color:red|label:A|-25.431,-49.2635&markers=color:red|label:E|-25.431,-49.2589&markers=color:red|label:I|-25.4353,-49.2592&path=fillcolor:0xff00ff|color:0xff00ff|weight:3|-25.42539,-49.27229|-25.42500,-49.25995|-25.42597,-49.25995>>

26169|-25.42645,-49.26327|-25.42675,-49.26557|-25.42713,-49.26591|-25.42789,-49.26626|-25.42872,-49.26628|-25.42934,-49.26626|-25.42965,-49.26671|-25.42992,-49.26705|-25.43047,-49.26739|-25.43089,-49.26748|-25.43190,-49.26727|-25.43254,-49.26739|-25.43281,-49.26778|-25.43316,-49.26870|-25.43372,-49.26868|-25.43434,-49.26890|-25.43508,-49.27070&path=fillcolor:0x0000ff|color:0x0000ff|weight:3|-25.44006,-49.24907|-25.42087,-49.24969|-25.42500,-49.25995|-25.42597,-49.26169|-25.42645,-49.26327|-25.42675,-49.26557|-25.42713,-49.26591|-25.42789,-49.26626|-25.42872,-49.26628|-25.42934,-49.26626|-25.42965,-49.26671|-25.42992,-49.26705|-25.43047,-49.26739|-25.43089,-49.26748|-25.43190,-49.26727|-25.43254,-49.26739|-25.43281,-49.26778|-25.43316,-49.26870|-25.43372,-49.26868|-25.43434,-49.26890|-25.43508,-49.27070|-25.44089,-49.27177&size=640x640&sensor=false>

5.4.4 BLOCOS 04 E 05 - CARACTERIZAÇÃO DAS ANTENAS

Nos blocos 4 e 5 do fluxograma da FIGURA 5.4 as antenas irradiantes são caracterizadas, sendo os dados desta caracterização encontrados nas TABELAS de 5.1 a 5.6.

5.4.5 BLOCOS 06 E 07 - BASE DE DADOS DE RECEPÇÃO

Os blocos 6 e 7 tratam da base de dados de recepção fornecida pela operadora TIM. Nesta parte, dados como os locais das medidas, a frequência de recepção, as potências recebidas nestes locais e a rota pré-definida das medições são necessários para caracterização destes blocos.

Os dados para a caracterização dos blocos 6 e 7 são encontrados nas TABELAS 5.1 e 5.3 e também na FIGURA 5.8.

5.4.6 BLOCO 08 - ARQUIVOS TEXTO COM BASE DE DADOS

A partir dos dados obtidos da base de dados TIM e das APIs do Google Maps é possível gerar os arquivos de texto com a base de dados para os testes, processo pertencente ao bloco 8 do fluxograma.

5.4.7 BLOCOS 09, 10 E 11 - CRIAÇÃO DAS ESTAÇÕES E DEFINIÇÃO DOS MODELOS

Com a base de dados montada, passa-se à criação das estações no programa PRORAD, processo dos blocos 9 e 10 e então a definição dos modelos de propagação do bloco 11 toma lugar no processo, etapa realizada anteriormente (ver CAPÍTULO 3).

Para os dados experimentais aqui expostos foram utilizados os modelos de Lee, COST231 e Erceg.

5.4.8 BLOCO 12 - FILTRAGEM DAS MEDIDAS

No bloco 12 a geração dos arquivos de medidas filtradas se dá através da inserção e filtragem dos arquivos de medidas gerados nos blocos 6 e 7. A filtragem é o processo de eliminação das medidas não pertencentes às antenas em estudo.

Das 24 antenas da base de dados, apenas 10 antenas são usadas neste trabalho. Como os valores de medidas de potência de recepção deste arquivo são valores médios, deve-se filtrar os dados de potência recebida a fim de se isolar cada antena e através do ângulo de abertura horizontal e distâncias dos pontos final e inicial da cobertura, encontrados na TABELA 5.5, mapear os pontos de medidas pertencentes a uma determinada antena.

Ilustrativamente, pode-se ver o procedimento de filtragem para a estação de ID A cuja antena está próxima ao centro da área em estudo nas figuras que se seguem.

Na FIGURA 5.14 encontra-se explicitado para a estação A o eixo representativo da direção norte terrestre pela reta de cor preta. A direção do azimute desta estação, que é de 240° segundo a TABELA 5.4, é dada pela reta de cor laranja. Os eixos de cor azul representam a abertura horizontal da antena na estação A que é de 65° , como visto na TABELA 5.5.

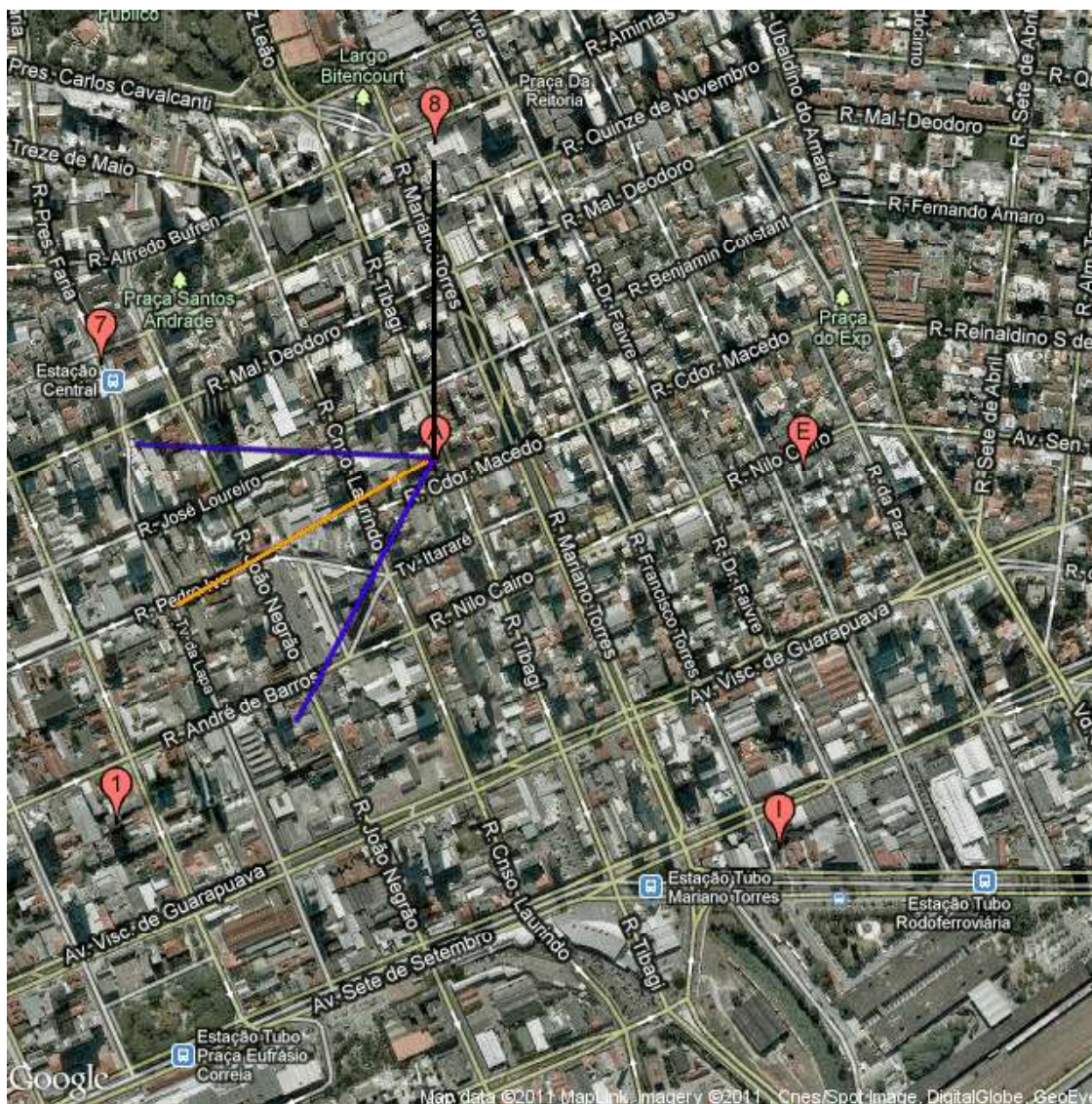


FIGURA 5.14 – DIREÇÕES NORTE (EIXO PRETO), AZIMUTE (EIXO LARANJA) E ABERTURA HORIZONTAL (EIXOS AZUIS) DA ANTENA NA ESTAÇÃO DE ID A

FONTE: GOOGLE (2009b); TIM (2007)

A partir dos dados de ponto mínimo e ponto máximo de abrangência do sinal da antena é possível desenhar a região circular na qual a antena poderá irradiar, independente de seu azimute. Esta representação é apresentada na FIGURA 5.15, na qual a área em verde é a zona de abrangência do sinal em questão.

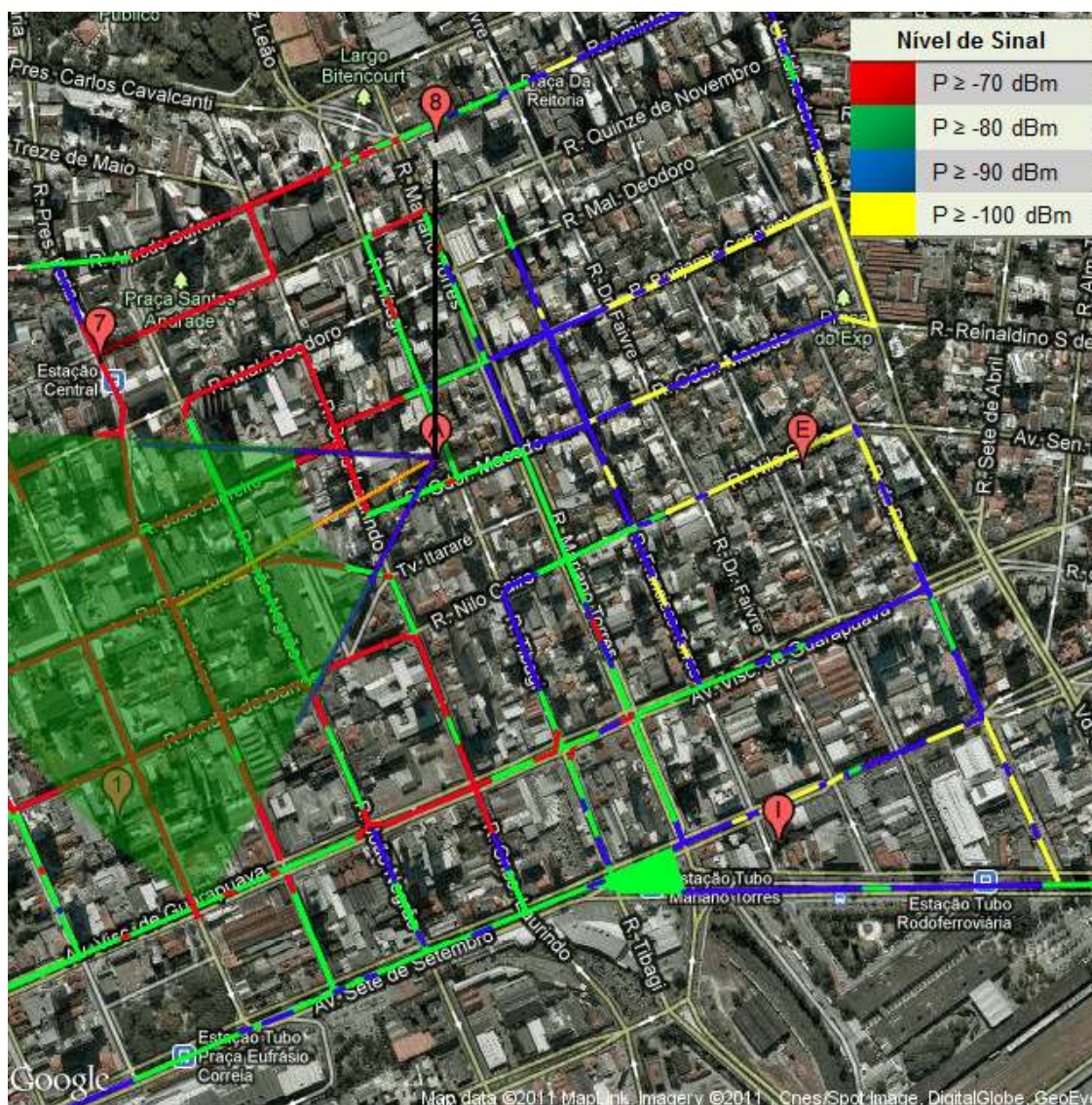


FIGURA 5.16 – ÁREA EM VERDE REPRESENTANDO O PONTO MÁXIMO E MÍNIMO DE IRRADIAÇÃO DA ANTENA NA ESTAÇÃO DE ID A NA DIREÇÃO DO AZIMUTE 240° DENTRO DO LIMITE DE ABERTURA HORIZONTAL DE 65° DESTA ANTENA

FONTE: GOOGLE (2009b); TIM (2007)

Filtrando os dados de medição de sinal geral fornecido na base de dados da TIM pela área da antena na estação de ID A, encontra-se os valores de potência pertencentes apenas a estação em questão. A representação visual das medidas pertencentes apenas a estação de ID A pode ser vista na FIGURA 5.17.

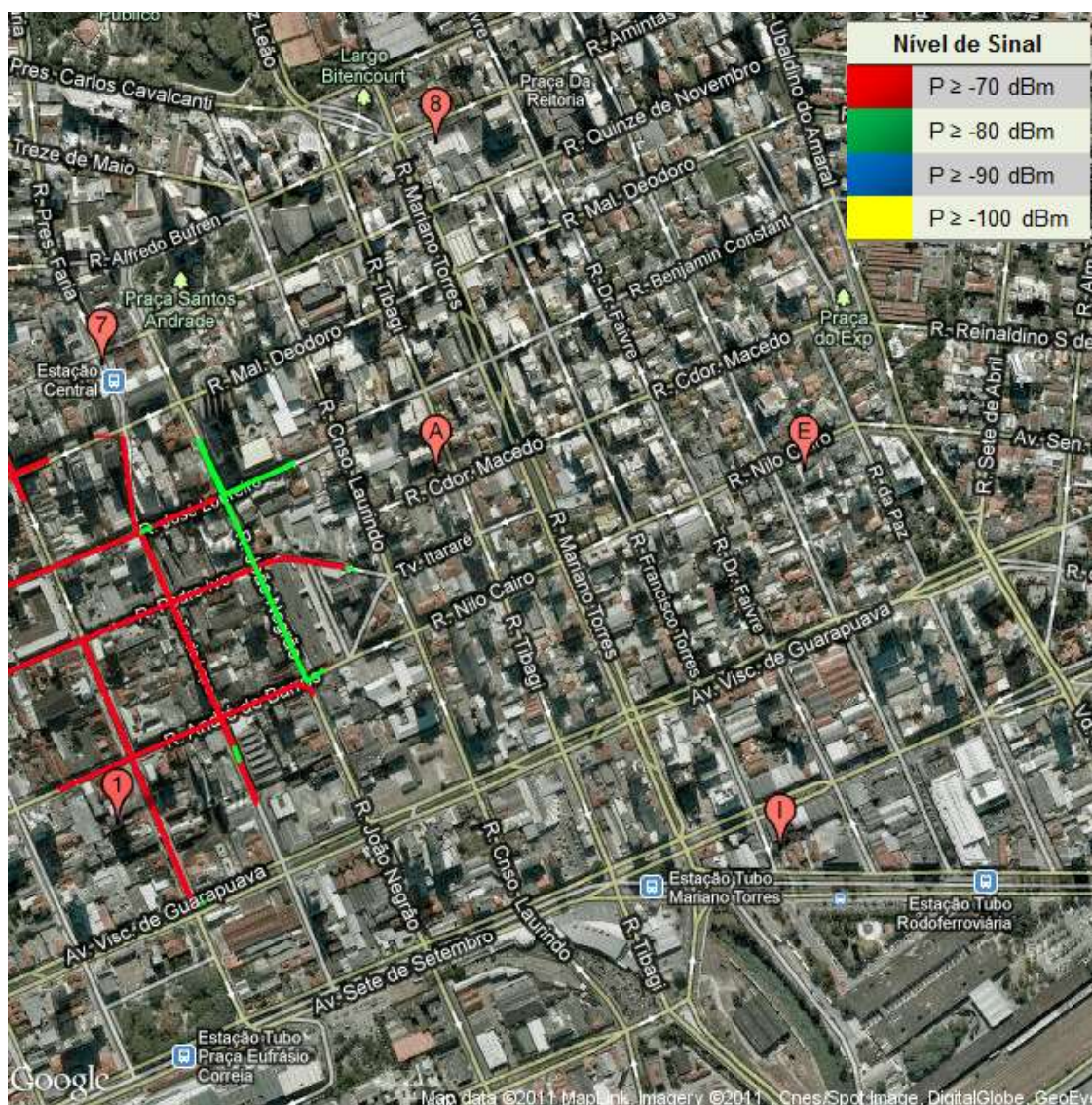


FIGURA 5.17 – DADOS FILTRADOS PARA A ÁREA DE COBERTURA DA ANTENA NA ESTAÇÃO DE ID A
 FONTE: GOOGLE (2009b); TIM (2007)

Estas representações gráficas do procedimento de filtragem não são necessários para a filtragem dos dados. O programa PRORAD executa diretamente no arquivo texto esta filtragem, classificando os dados de medidas por estação.

Para fins de conferência, no PRORAD é possível visualizar o resultado final por estação com e sem a área de cobertura e os eixos de azimute, norte e abertura horizontal para cada estação cujos dados foram filtrados.

Uma observação importante é que diferentemente do proposto em PEREIRA (2007), a filtragem dos dados deve levar em conta a sobreposição das áreas de abrangência do

sinal de todas as estações em projeto.

Como para esta dissertação o importante não é um determinado projeto em si e sim a validação do modelo proposto, existem dados precisos sobre a recepção na área em estudo das antenas propostas. Desta forma, esta etapa de filtragem passa a receber dados precisos de recepção das próprias antenas a serem projetadas.

Tendo como premissa esta base de dados precisa, a filtragem destes dados deve levar em consideração mais de uma antena para um mesmo local. Na FIGURA 5.18 é representada graficamente todas as áreas de cobertura das 10 antenas em estudo.

Nesta figura é possível identificar o exemplo da quadra do CCI dado anteriormente, situado nas esquinas das ruas Marechal Deodoro, João Negrão, Conselheiro Laurindo e José Loureiro. Esta região encontra-se coberta pelas antenas 8, A, C, H e M.

Visto que cinco das dez antenas em estudo focam cobertura nesta região, fica explícita a grande dificuldade de presença de sinal desta área. Sendo assim, é possível compreender a complexidade que esta exige em um projeto de propagação e a complexidade exigida em um modelo de propagação.

Ao se levar em consideração a cobertura conjunta de antenas na filtragem, o procedimento dado em PEREIRA (2007) é alterado e isso torna ainda mais preciso a metodologia proposta.

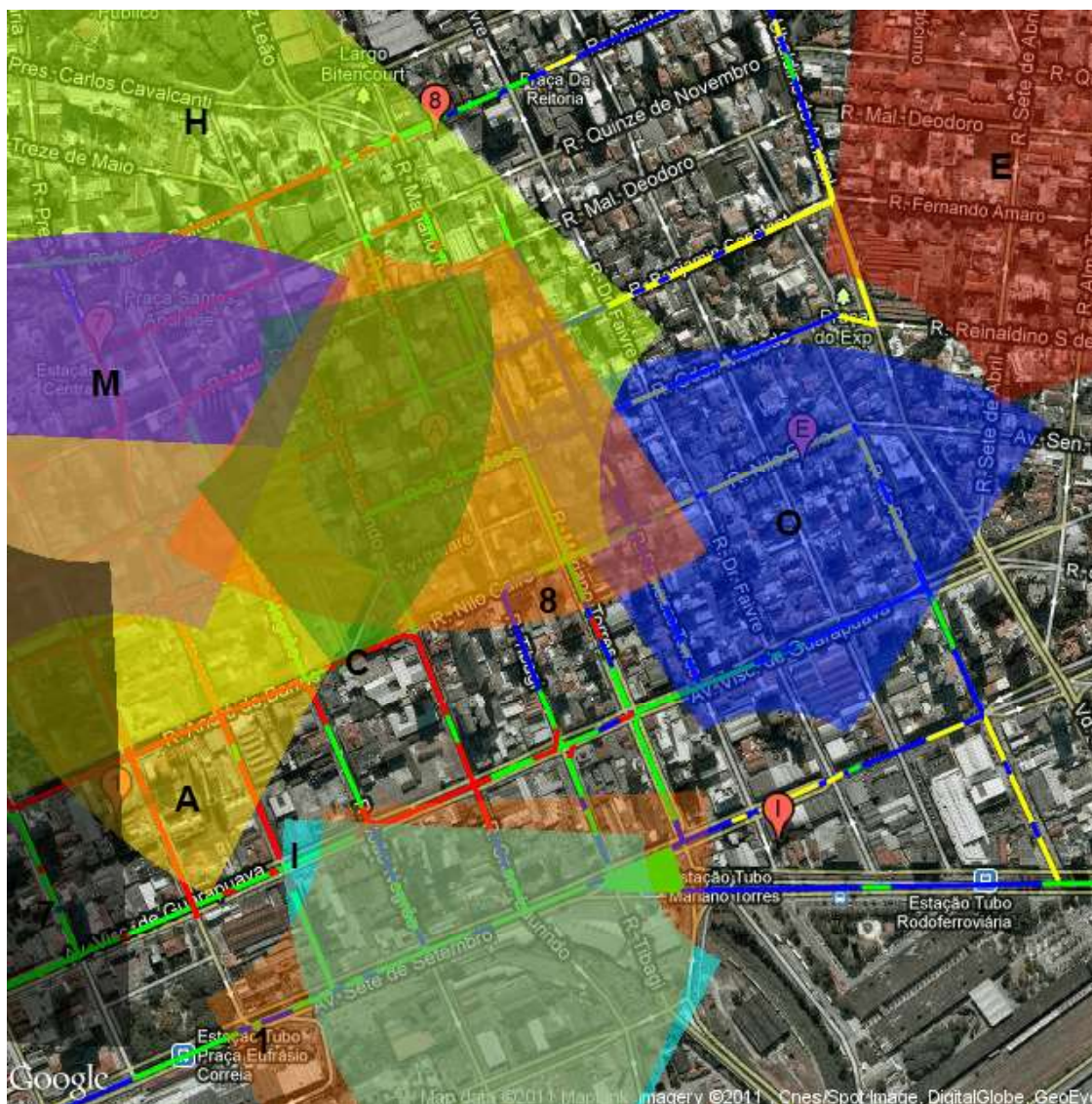


FIGURA 5.19 – FOTO DE SATÉLITE EXPLICITANDO ÁREAS DE COBERTURA E DADOS DE MEDIDAS NÃO COBERTAS PELAS ANTENAS DA ÁREA DE INTERESSE

FONTE: GOOGLE (2009b); TIM (2007)

Após a filtragem dos dados, passa-se a utilização dos dados gerados.

5.4.9 BLOCOS 13 E 14 - INSERÇÃO DOS ARQUIVOS DE MEDIDAS FILTRADOS

O processo cíclico que se dá nos blocos 13 e 14 fazem a inserção na base de dados do PRORAD dos dados filtrados no processo anterior para cada estação.

Este processo é particularmente custoso em termos de recursos de máquina e tempo caso existam muitas estações, muitos pontos de medida e área de abrangência

muito grande. Para cada estação calculada, um tempo perceptível de processamento computacional foi constatado durante os testes feitos para a área em questão.

Para a área em estudo, este processo foi realizado dez vezes (uma para cada estação) e a base final de dados se mostrou pouco menor em relação à base de dados da mesma área fornecida pela TIM devido à redução dos pontos não cobertos por nenhuma estação da área em questão.

5.4.10 BLOCO 15 - GERAÇÃO DOS ARQUIVOS PARA SIMULAÇÃO COM MEDIDAS

Neste bloco a geração dos arquivos de simulação para cada estação é feita.

Os arquivos de simulação serão usados para a comparação final das simulações de cada modelo de propagação com os dados de medição fornecidos pela TIM e filtrados no bloco 12. Um exemplo visual destes dados para uma localidade pode ser visto na FIGURA 5.17 anteriormente apresentada.

Uma representação gráfica do sinal filtrado de todo o banco de dados pode ser visto na FIGURA 5.20. Apenas os dados vistos nesta figura serão usados para os testes, calibração e comparação dos modelos.

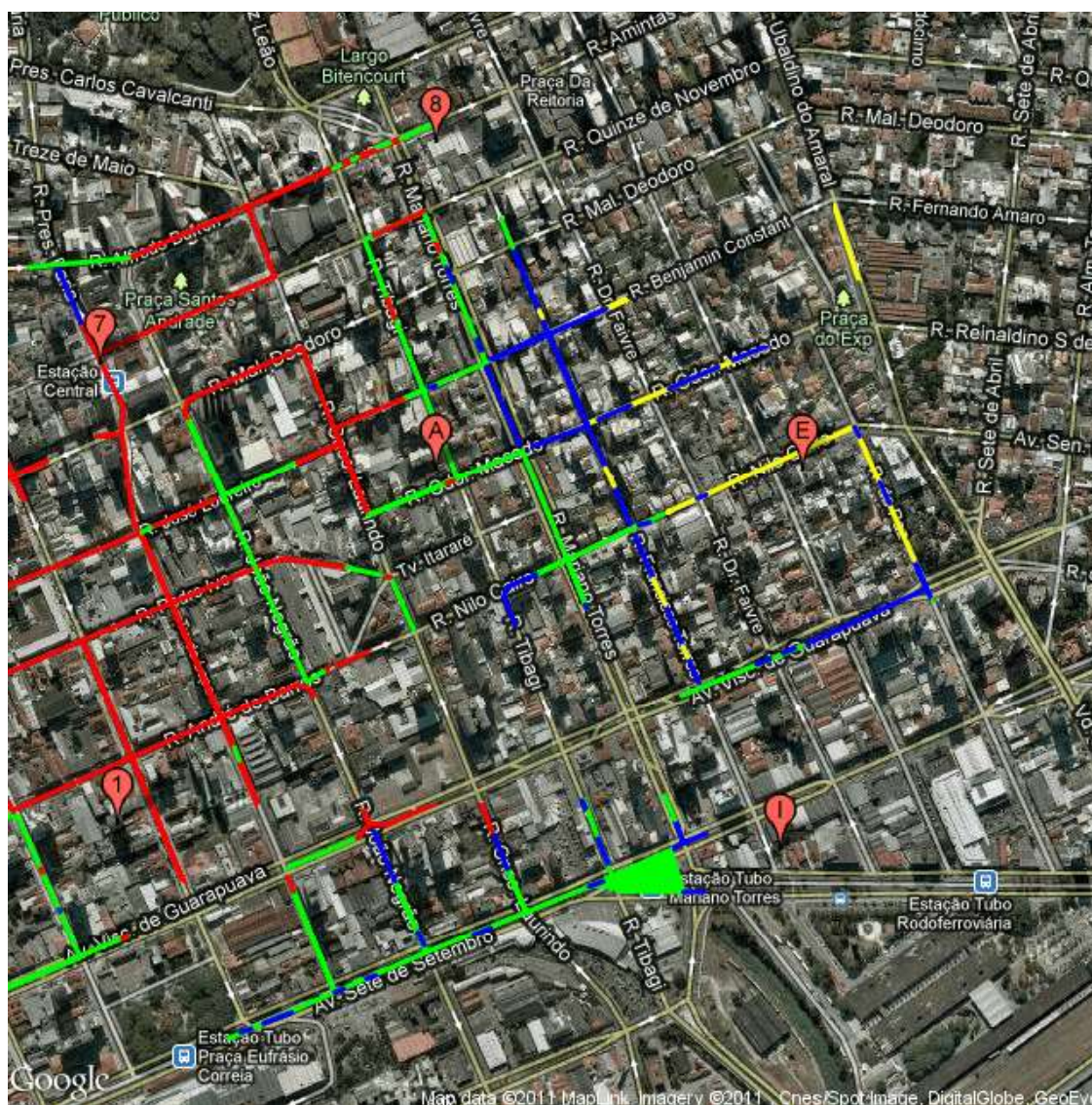


FIGURA 5.20 – DADOS FILTRADOS DE TODAS AS ANTENAS NA ÁREA DE INTERESSE

FONTE: GOOGLE (2009b); TIM (2007)

5.4.11 BLOCOS 16, 17, 18, 19 E 20 - PROCESSAMENTO DAS MEDIDAS COM PARÂMETROS GERAIS DOS MODELOS

O bloco 16 é um processo à parte, descrito pelo fluxograma da FIGURA 5.5a, no qual a simulação da propagação utilizando os modelos escolhidos é feita com a utilização de parâmetros gerais de cada modelo.

Os parâmetros gerais para cada modelo utilizado podem ser encontrados no capítulo sobre modelos de propagação (ver CAPÍTULO 3) e resumidamente na TABELA 5.7.

TABELA 5.7 – PARÂMETROS GERAIS

MODELO	PARÂMETRO	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA DENSE
LEE	P_0 [dBm]	-64	-70
	γ [dB/década]	43	55
COST-WI	h_t [m]	15	24
	b [m]	50	20
	w [m]	25	10
	φ [graus]	90	90
ERCEG	A	4	4.6
	B [m^{-1}]	0.0065	0.0075
	C [m]	17.1	12.6
PATRIOTA84	P_0 [dBm]	-64	-70
	γ_p [dB/década]	43	55
	h_t [m]	15	24
	b [m]	50	20
	w [m]	25	10
	φ [graus]	90	90

FONTE: O AUTOR (2011)

Este processo conta com a geração dos logs das medidas geradas nas simulações, bem como com uma comparação através de desvio médio e desvio padrão com e sem o fator de correção para cada modelo, conforme apresentado em PEREIRA (2007), porém tais comparações estatísticas são de baixa importância nesta dissertação pois ainda não representam o resultado final. Tais dados estatísticos serão melhor representados após a etapa do bloco 24.

Neste ponto é importante observar que uma alteração no procedimento dado em PEREIRA (2007) foi sensivelmente alterado para que não apenas estações separadas fossem levadas em consideração, mas também conjuntos de estações que interferissem em um mesmo ponto geográfico, como mencionado anteriormente.

Os logs gerados nesta etapa são de grande importância para a etapa seguinte, na qual a partir destes logs é possível calibrar os modelos.

5.4.12 BLOCO 21, 22 E 23 - CALIBRAÇÃO DOS MODELOS COM ARQUIVOS LOG E OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS CALIBRADOS

Nos blocos 21, 22 e 23 no fluxograma da FIGURA 5.4, o processo de calibração de cada modelo é representado. O bloco 21 diz respeito ao tratamento dos arquivos de log gerados na etapa anterior para obtenção dos parâmetros calibrados para cada modelo.

Os parâmetros de cada modelo são representados no bloco 22 como resultado do processo do bloco 21 e finalmente no bloco 23, o processo se reinicia, caso haja outro modelo a ser calibrado.

O processamento de dados dado no bloco 21 é lento e realizado para cada ponto simulado, para cada antena proposta. É neste ponto que a fase de calibração é executada.

Segundo PEREIRA (2007, p. 83), a fase de calibração fornece a cada modelo, parâmetros específicos da morfologia do terreno em estudo como perdas no percurso ou potência de sinal no ponto de interseção, já explicados anteriormente (ver CAPÍTULO 3).

Esta etapa é imprescindível a todos os modelos em estudo e garante a validade dos dados obtidos, como visto anteriormente e sem a qual, as simulações ficam incompatíveis com a realidade.

5.4.13 BLOCO 24, 25, 26 E 27 - PROCESSAMENTO DAS MEDIDAS COM PARÂMETROS CALIBRADOS DOS MODELOS

Como nos blocos de 16 a 20, esta etapa realiza um processo à parte representado pelo fluxograma da FIGURA 5.5b para realização das simulações dos modelos em comparação.

O grande diferencial entre esta etapa e a do bloco 16 é o fato de os modelos serem simulados com os parâmetros calibrados gerados pelas etapas dos blocos 21, 22 e 23.

Após todos os modelos processados na etapa de calibração, os dados calibrados resumidos na TABELA 5.8 são usados nas novas simulações, exemplificadas pelos blocos de 24 a 27 do fluxograma da FIGURA 5.4.

TABELA 5.8 – PARÂMETROS CALIBRADOS

MODELO	PARÂMETRO	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA DENSA
LEE	P_0 [dBm]	-87.7344	-103.821
	γ [dB/década]	32.9213	34.7762
COST-WI	h_t [m]		
	b [m]		Base complexa
	w [m]		
	φ [graus]		
ERCEG	A	5.0500	5.12
	B [m^{-1}]	0.0068	0.0071
	C [m]	13.7	12.3
PATRIOTA84	P_0 [dBm]	-76.8461	-84.5292
	γ_p [dB/década]	8.7641	12.4688
	h_t [m]		
	b [m]		Base complexa
	w [m]		
	φ [graus]		

FONTE: O AUTOR (2011)

Finalmente, após todas as simulações serem realizadas, dados suficientes foram coletados para comparação de resultados.

5.4.14 BLOCO 28 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Na comparação de resultados dada pelo bloco 28, os resultados obtidos nas simulações dos blocos 16 e 24 são postos lado a lado a fim de verificar se existiu uma melhoria dos dados através da inclusão de parâmetros calibrados.

Esta comparação é útil para verificar se a calibração está correta e se houve melhoria nos resultados. Como o objetivo desta dissertação é mostrar o resultado final, uma rápida avaliação dos resultados dos blocos 16 e 24 bastaram para a continuidade do trabalho. Uma avaliação mais aprofundada se dá na seção de análise de resultados, na qual se apresentam os dados tabelados e em formato gráfico para a análise final.

5.4.15 BLOCO 29 - AVALIAÇÃO DOS MODELOS

Finalmente, o bloco 29 dá a oportunidade ao conceptor do projeto de analisar se os modelos escolhidos resultaram em uma boa simulação ou se é necessário escolher outro modelo para o projeto.

Como o objetivo desta dissertação não é o projeto em si e sim propor melhorias nos modelos existentes e sua avaliação, o bloco 29 poderá ser interpretado como comparação dos resultados obtidos pelo modelo proposto em contrapartida aos demais modelos testados e esta análise é feita na seção seguinte.

5.5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta etapa cabe mostrar os dados obtidos no bloco 24, o qual resultou em uma análise estatística de desvio com os modelos utilizando parâmetros calibrados e com seus devidos fatores de correção.

Os cálculos estatísticos seguiram as equações (5.1) e (5.2) de desvio médio e desvio padrão respectivamente.

O desvio médio corresponde ao valor médio no qual a dispersão se altera para mais ou para menos:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (5.1)$$

Onde:

- \bar{d} – Desvio médio [dB]
- n – Número de elementos da dispersão;
- x_i – Valor do elemento i da dispersão [dB]. Os valores da dispersão são calculados com o módulo da diferença entre o valor simulado e o valor medido real;
- \bar{x} – Média aritmética simples da dispersão [dB];

O desvio padrão é o valor no qual a dispersão mais ocorre e em torno do qual o desvio médio oscila:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.2)$$

Onde:

- s – Desvio padrão [dB]
- n – Número de elementos da dispersão;
- x_i – Valor do elemento i da dispersão [dB]. Os valores da dispersão são calculados com o módulo da diferença entre o valor simulado e o valor medido real;
- \bar{x} – Média aritmética simples da dispersão [dB];

Como estes desvios correspondem aos erros em dB e não aos valores das medições, a análise estatística fica facilitada através de gráficos.

Nas TABELAs 5.9 e 5.10 é possível verificar os resultados estatísticos obtidos no bloco 24 e delas pode-se verificar de forma mais visual através dos gráficos de valores médios por estação dados nas FIGURAS 5.21 e 5.22 para desvio padrão e desvio médio respectivamente, calculados conforme mostrado acima.

TABELA 5.9 – DESVIO PADRÃO DOS MODELOS SIMULADOS COM PARÂMETROS CALIBRADOS E FATORES DE CORREÇÃO

ID	QUANTIDADE DE MEDIDAS	DESVIO PADRÃO [dB]			
		LEE	COST-WI	ERCEG	PATRIOTA84
1	1913	5,84	3,36	5,47	4,01
7	3714	9,91	9,30	10,17	7,30
8	3942	7,36	6,62	8,65	6,27
A	3292	9,86	8,28	10,11	9,16
C	1633	8,94	6,83	8,19	7,96
E	59	6,34	3,27	7,49	4,25
H	9108	10,67	11,50	9,29	9,81
I	1299	13,14	12,95	11,97	11,14
M	3451	10,64	4,52	8,31	6,95
O	1920	12,07	10,78	12,13	9,41

FONTE: O AUTOR (2011)

TABELA 5.10 – DESVIO MÉDIO DOS MODELOS SIMULADOS COM PARÂMETROS CALIBRADOS E FATORES DE CORREÇÃO

ID	QUANTIDADE DE MEDIDAS	DESVIO MÉDIO [dB]			
		LEE	COST-WI	ERCEG	PATRIOTA84
1	1913	2,83	0,66	2,75	0,29
7	3714	5,92	3,76	3,99	3,17
8	3942	5,11	1,85	5,60	0,13
A	3292	2,90	0,60	3,95	1,19
C	1633	4,96	1,39	4,26	0,46
E	59	10,29	2,93	4,37	2,75
H	9108	5,30	5,67	0,85	0,40
I	1299	9,75	0,37	3,37	0,47
M	3451	6,23	2,76	6,74	2,07
O	1920	10,35	0,98	4,87	0,13

FONTE: O AUTOR (2011)

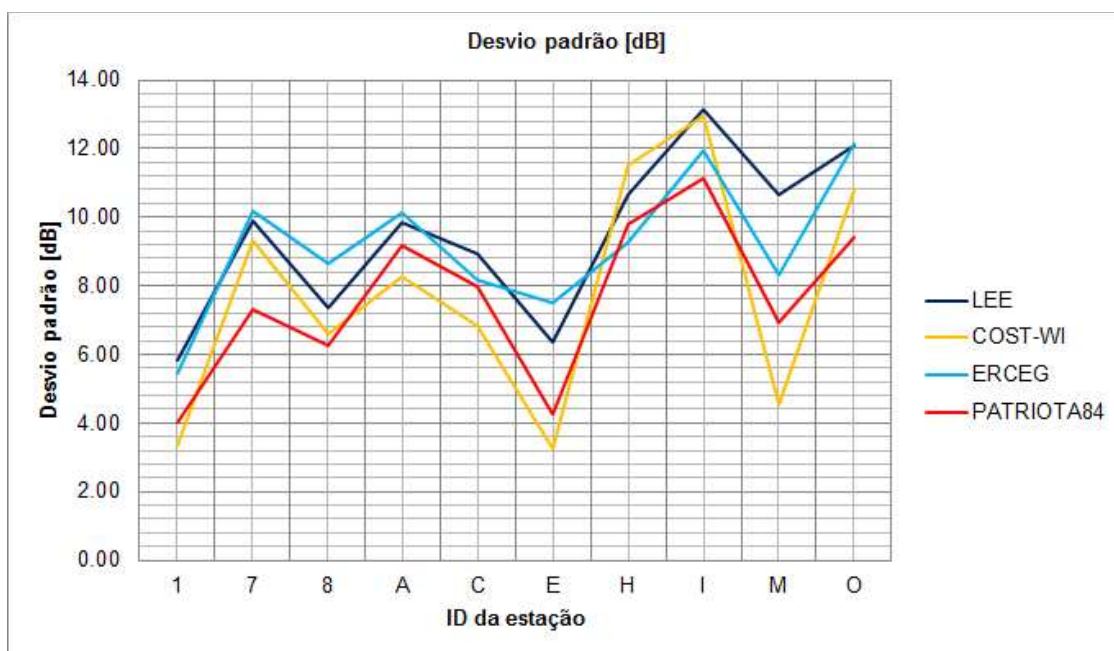


FIGURA 5.21 – GRÁFICO DESVIO PADRÃO EM DECIBÉIS POR ERB

FONTE: O AUTOR (2011)

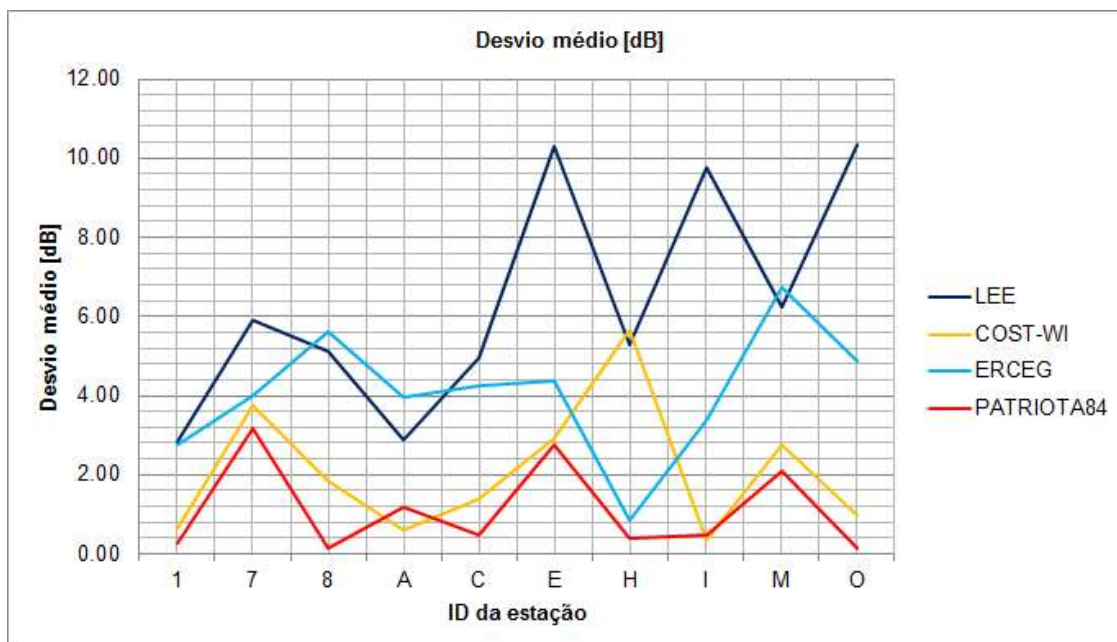


FIGURA 5.22 – GRÁFICO DESVIO MÉDIO EM DECIBÉIS POR ERB

FONTE: O AUTOR (2011)

Ao executar a análise criteriosa dos dados e gráficos apresentados, informações importantes podem ser obtidas. Inicialmente, a grande semelhança do modelo proposto com o modelo COST-WI é evidenciada, o que torna a formulação proposta mais robusta e precisa, da mesma forma que no modelo COST-WI com a desvantagem da necessidade de base de dados complexa, como já mencionado (vide CAPÍTULO 3).

Devido às superposições das áreas de cobertura das estações, alguns aspectos devem ser observados. Utilizando-se como exemplo as ERBs 1 e I, a FIGURA 5.21 evidencia para estas estações um grande desvio de todos os modelos em I porém um pequeno erro para todos os modelos em 1, contrabalanceando o resultado da simulação.

Conforme explicado anteriormente no procedimento de testes, este efeito se dá pela análise dupla de um mesmo ponto. O mesmo efeito pode ser observado nas demais ERBs porém com menos evidência pois a sobreposição passa a ser de um maior número de áreas de cobertura.

Ainda sobre a FIGURA 5.21, fica evidente o efeito de precisão acrescentado pelo equacionamento dos efeitos de difração nas laterais dos obstáculos nas estações 7, H, I e O, as quais dão cobertura para áreas de grande densidade de edificação, principalmente a estação H na qual o caso de estudo do CCI citado (ver CAPÍTULO 3) está presente. Em contrapartida, o acréscimo de modelagem por decaimento de sinal por década proveniente da formulação de LEE inclui uma redução de precisão como nas estações de ID A, C, E

e M, se comparados ao modelo de COST-WI, porém de baixo efeito danoso à simulação final.

Analisando-se a FIGURA 5.22, as contribuições ficam ainda mais evidentes. Comparando-se a estação crítica do caso CCI (ID H), o resultado do desvio médio da mesma foi o melhor entre os modelos comparados. A precisão do modelo COST-WI, aliada à modelagem das difrações laterais e à robustez do modelo de LEE conferiram à formulação PATRIOTA84 um excelente resultado em situações específicas do centro da cidade de Curitiba.

Tal resultado pode ser visto de melhor forma nas TABELAS 5.9 e 5.10 ao se comparar os erros mais acentuados encontrados em cada estação. Das dez estações, cinco tem o maior erro no modelo de ERCEG, quatro tem maior erro para o modelo de LEE e apenas uma tem o maior erro no modelo de COST-WI e para os desvios médios do erro, seis ERBs tem o maior valor na simulação feito pelo modelo de LEE.

De uma forma mais facilmente comparável, os valores médios de erro e de desvio médio de todas as estações para cada modelo pode ser visto na TABELA 5.11 abaixo.

TABELA 5.11 – VALOR MÉDIO ABSOLUTO DOS MODELOS SIMULADOS COM PARÂMETROS CALIBRADOS E FATORES DE CORREÇÃO PARA OS DESVIOS PADRÃO E MÉDIO

MODELO	MÉDIA DO DESVIO PADRÃO [dB]	MÉDIA DO DESVIO MÉDIO [dB]
LEE	9,48	6,36
COST-WI	7,74	2,10
ERCEG	9,18	4,08
PATRIOTA84	7,63	1,11

FONTE: O AUTOR (2011)

Como visto na TABELA 5.11 e nas FIGURAS 5.21 e 5.22, o modelo proposto obteve bons resultados apesar da perda de precisão que o modelo de LEE incutiu na formulação proposta.

5.6 CONCLUSÃO

A análise de dados dos modelos criou uma nova perspectiva quanto ao uso de modelagem de difrações diversas e também demonstrou bons resultados em comparação com os modelos usados como base para a criação desta proposta aqui apresentada.

A reduzida dispersão de erro (desvio padrão) e o baixo grau de aproximação ao

erro (desvio médio) simbolizam um modelo que pode ser usado para uma reformulação das disposições de antenas das operadoras de telefonia móvel desta localidade, entretanto não se pode afirmar que este modelo seja tão preciso para outras regiões da cidade nas quais a formulação não foi testada.

O modelo de propagação aqui proposto nada mais é do que uma união de técnicas clássicas utilizadas em projetos de telecomunicações incluindo alguns parâmetros ainda não modelados na maioria dos modelos utilizados comercialmente.

Inúmeros modelos como este são propostos todos os anos porém poucos se preocupam com os efeitos de difração nas laterais de edifícios e com a rapidez dos cálculos quando da passagem do sinal por regiões de baixo impacto ao mesmo ou ainda por regiões de conhecida perda de percurso como a aqui proposta.

A inclusão da modelagem por difrações nas laterais de edifícios fizeram a diferença para o problema em estudo do Centro Comercial Itália, porém uma grande quantidade de dados a mais devem ser informados ao modelo para que o mesmo execute os cálculos e este tipo de base de dados incorre em custo operacional e temporal de uma simulação de propagação.

Finalmente, o modelo aqui proposto não deve ser utilizado sem a devida calibração dos parâmetros do modelo para o terreno em questão e configuração dos fatores de correção. Caso a calibração não ocorra, o modelo tende a fornecer valores de erro comparados as do modelo de LEE e ERCEG.

REFERÊNCIAS

CELPLAN. **CelPlan**: Celplan wireless global technologies. Jun. 2010. Site. Disponível em: <<http://www.celplan.com.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2010.

GOOGLE. **Família do Google Maps API**. Mai. 2009a. Disponível em: <<http://code.google.com/intl/pt-BR/apis/maps/index.html>>. Acesso em: 07 abr. 2010.

GOOGLE. **Google Static Maps API V2**. Mai. 2009b. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/staticmaps/>>. Acesso em: 07 abr. 2010.

GOOGLE. **Google Maps API Web Services**. Mai. 2009c. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/webservices/>>. Acesso em: 26 abr. 2010.

GOOGLE. **Google Maps API Web Services: The Google Geocoding API**. Mai. 2009d. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/geocoding/>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

GOOGLE. **Google Maps API Web Services: The Google Elevation API**. Jun. 2010. Site. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/elevation/>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

PATRIOTA, G. D. **Projeto de Rádio Enlace – PRORADEN v.1**. Curitiba, PR, jun 2009. Planilha de cálculo.

PEREIRA, M. A. B. **Análise de Modelos de Propagação na Área Urbana da Região de Curitiba - PR na Faixa de Frequência de 1800 MHz**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Agosto 2007.

TELECOM ITALIA MOBILE (TIM). **Base de dados de antenas e testes de medição de sinal - GSM - Região central - Curitiba - Paraná - Brasil**. 2007.

CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A união de fórmulas para a criação de uma ferramenta melhor foi alvo de diversos trabalhos ao longo da história, como nas equações de Maxwell de onda, as quais são união de leis elaboradas por Carl Friedrich Gauss, André-Marie Ampère e Michael Faraday.

Este tipo de desenvolvimento científico passa por um árduo trabalho de adequação das equações, leis as quais pretende-se basear a pesquisa e este trabalho só pode ser validado com tempo de uso e testes por anos.

A união dos modelos de LEE com os equacionamentos dados em COST-WI em conjunto com a integração de perdas por difração nas laterais dos edifícios passou por diversas tentativas até o produto final apresentado nesta dissertação poder ser testado de forma coerente e com bons resultados.

Apesar do modelo proposto se mostrar factível para a área em estudo, testes mais exaustivos devem ser feitos em áreas maiores da cidade de Curitiba e também outros centros urbanos de grande densidade. Como o objetivo deste projeto era apresentar um modelo de propagação *outdoor* para a região urbana densa de Curitiba, pouco se fez no tocante a testes fora da área em estudo.

Como a formulação foi criada especificamente para a área descrita acima, é possível que exista uma exclusividade muito grande do modelo com a área de criação e por isso os dados apresentados parecem tão promissores. Porém como o modelo seguiu o comportamento esperado, parecido com o comportamento do modelo COST-WI, e em pontos chave das simulações pôde-se observar a ação das contribuições incluídas na formulação como perdas por difração entre outras, este modelo se mostrou um bom substituto para os modelos atualmente em uso na região estudada.

6.2 CONTRIBUIÇÕES

Ao se cumprir o objetivo principal deste, de apresentar uma contribuição aos modelos de propagação atualmente em uso para a região urbana densa da cidade de Curitiba, outros produtos desta pesquisa foram gerados.

Para os testes do modelo proposto foi criada a ferramenta de projetos de rádio enlace PRORAD que continua seu desenvolvimento através de mestrandos e graduandos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

Para a criação da base de dados utilizada neste projeto, um projeto de pesquisa paralelo ocorreu a fim de criar todos os dados de forma gratuita e de fácil acesso. O projeto PRORAD - Base de dados se utilizou de técnicas de reconhecimento de imagens através de lógica Fuzzy - FIP para detecção de objetos em uma imagem muito complexa. Conjuntamente com a identificação, todo o processo de medição em escala e georeferenciamento das imagens foi desenvolvida neste projeto, o qual continuará seu desenvolvimento pela equipe de pesquisa do projeto PRORAD.

6.3 PRÓXIMOS PASSOS DO PROJETO PRORAD

A modelagem da propagação eletromagnética não é a única ferramenta necessária para o desenvolvimento de um projeto completo de RF. Para tal é necessário a criação de ferramentas para simulação de transmissão de pacotes, perdas, erros de transmissão, interferência co-canal e canal adjacente entre outras.

Os pesquisadores do projeto PRORAD pretendem dar continuidade à criação desta excelente ideia de criar um programa livre, independente do MatLab usado para sua programação e compilação, de uso acadêmico completo para projetos de RF e simulações para aulas e estudo.

Outro projeto que poderá ser continuado e melhorado é a criação automática da base de dados utilizando imagens de satélite do Google Maps API em conjunto com inteligência artificial. Grande parte das bases de dados complexas para uso com modelos como o COST-WI são de alto custo financeiro, o que foge ao objetivo principal do projeto PRORAD.

Sendo o principal objetivo dos próximos passos do projeto PRORAD se manter gratuito e de fácil utilização, a interface com o usuário deverá ser melhorada para se adequar às novas ferramentas e às exigências dos alunos e professores usuários.

6.4 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como mencionado anteriormente, trabalhos futuros poderão tomar lugar na pesquisa deste modelo aqui proposto em outras áreas ou com contribuições diferentes das aqui propostas.

Dentro do escopo do projeto PRORAD, uma colaboração interdisciplinar poderá ser criada para melhora da interface com o usuário através de pesquisadores de ciência da computação ou áreas afins e ainda, em conjunto com pesquisadores das áreas de

inteligência artificial e de sistemas corretores de erros, a inclusão de novas ferramentas e melhoria das já existentes.

Por fim, como pesquisas na área de propagação eletromagnética são extremamente visadas, projetos de modelos em grande escala para simulação de propagação através de técnicas como FETD ou FDTD, entre outras também poderão ter como base esta dissertação (ver CAPÍTULO 3) e como implantação, o projeto PRORAD.

REFERÊNCIAS GERAL

- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). Telecomunicações. In: _____. **ANATEL: Glossário**. 1998. Disponível em: <http://www.abrafix.org.br/admin/imagens/upload/dados_setor_arquivos/glossario.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2011.
- _____. Anatel divulga regulamentos, planos, normas e edital do serviço móvel pessoal. In: _____. **ANATEL: Assessoria de Imprensa**. Brasília, DF: Assessoria Parlamentar e de Comunicação Social (APC), 2000. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=16097&assuntoPublicacao=Anatel%20divulga%20regulamentos,%20planos,%20normas%20e%20edital%20do%20Servi%20E7o%20M%20F3vel%20Pessoal&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=biblioteca/releases/2000/release_29_09_2000.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2010.
- _____. Brasil fecha 2010 com 202,9 milhões de celulares. In: _____. **ANATEL: Mais notícias**. 2011. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNoticias.do?acao=carregaNoticia&codigo=21875>>. Acesso em: 20 fev. 2011.
- ARTUZI Jr, W. A. Finite element time domain method using piecewise constant basis functions. In: INTERNATIONAL MICROWAVE AND OPTOELECTRONICS CONFERENCE, 11^{a.}, 2003, Foz do Iguaçu. **Proceedings of the 2003 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference, 2003. IMOC 2003**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Microondas e Optoeletrônica, 2003. v. 2, p. 1029–1032.
- BERTONI, H. L. Antennas and radiation. In: _____. **Radio Propagation for Modern Wireless Systems**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall Professional Technical Reference, 1999. p. 90–92. ISBN 0130263737.
- BOAVENTURA, I. A. G. **Números fuzzy em processamento de imagens digitais e suas aplicações na detecção de bordas**. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, mar. 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18152/tde-06052010-154227/pt-br.php>>. Acesso em: 15 ago. 2010.
- BOSCO, L. Communication concepts: Circuit designer perspective. In: _____. **VLSI for Wireless Communication**. 1^{a.} ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2002. p. 15–38.
- BRASIL. Casa Civil. Decreto nº 4.769 de 27 de junho de 2003. Aprova o Plano Geral de Metas para a Universalização do Serviço Telefônico Fixo Comutado Prestado no Regime Público - PGMU, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, jun. 2003. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/D4769.htm>.
- _____. Decreto nº 6.424 de 4 de abril de 2008. Altera e acresce dispositivos ao Anexo do Decreto nº 4.769, de 27 de junho de 2003, que aprova o Plano Geral de Metas para a Universalização do Serviço Telefônico Fixo Comutado prestado no Regime Público - PGMU. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, abr. 2008. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6424.htm#art4>.

CELPLAN. **CelPlan**: Celplan wireless global technologies. Jun. 2010. Site. Disponível em: <<http://www.celplan.com.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2010.

CICHON, D. J.; KÜENER, T. Propagation prediction models. In: _____. **Digital mobile radio towards future generation systems**: COST 231 Final Report. Office for Official Publications of the European Communities, 1993. cap. 4, p. 115–208. ISBN 92-828-5416-7. Disponível em: <<http://www.lx.it.pt/cost231/>>. Acesso em: 04 mai. 2010.

COOPERATION IN SCIENCE AND TECHNOLOGY (COST). **Action 231 – Digital mobile radio towards future generation systems**: COST 231 Final Report. [S.l.], abr 1993. 474 p. Disponível em: <<http://www.lx.it.pt/cost231/>>. Acesso em: 04 mai 2010.

_____. **About COST**. ago 2010. Site. Disponível em: <http://www.cost.esf.org/about_cost>. Acesso em: 28 jan. 2011.

_____. **Information and Communication Technologie (ICT)**. out 2010. Site. Disponível em: <http://www.cost.esf.org/domains_actions/ict>. Acesso em: 30 jan. 2010.

FRANKLIN. **Estudio de la Zona Fresnel en las Comunicaciones Inalambricas**. dez. 2010. Disponível em: <<http://xentron.blogspot.com/2010/12/estudio-de-la-zona-fresnel-en-las.html>>. Acesso em: 4 de abr. 2011.

GÓIS, J. A.; CENTENO, T. M. Integração fuzzy de imagens e dados heterogêneos no auxílio à avaliação de impacto ambiental. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, BR: [s.n.], 2005. p. 3037–3044.

GOOGLE. **Família do Google Maps API**. Mai. 2009a. Disponível em: <<http://code.google.com/intl/pt-BR/apis/maps/index.html>>. Acesso em: 07 abr. 2010.

_____. **Google Static Maps API V2**. Mai. 2009b. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/staticmaps/>>. Acesso em: 07 abr. 2010.

_____. **Google Maps API Web Services**. Mai. 2009c. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/webservices/>>. Acesso em: 26 abr. 2010.

_____. **Google Maps API Web Services**: The Google Geocoding API. Mai. 2009d. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/geocoding/>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

_____. **Google Maps API Web Services**: The Google Elevation API. Jun. 2010. Site. Disponível em: <<http://code.google.com/apis/maps/documentation/elevation/>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

HALL, M. P. M.; BARCLAY, L. W.; HEWITT, M. T. In: _____. **Propagation of Radiowaves**. 1^a. ed. [S.l.]: British Library, 1996. p. 9–22, 38–58 e 60–102.

HATA, M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 29, n. 3, p. 317–325, ago. 1980.

IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY SOCIETY COMMITTEE ON RADIO PROPAGATION, USA. Coverage prediction for mobile radio systems operating in the 800 / 900 mhz frequency range. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 37, n. 1, p. 3–72, fev. 1988.

IKEGAMI, F.; YOSHIDA, S. Analysis of multipath propagation structure in urban mobile radio environments. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 28, p. 531–537, 1980.

IKEGAMI, F. et al. Propagation factors controlling mean field strength on urban streets. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 32, p. 822–829, 1984.

LEE, W. C.; YEH, Y. S. On the estimation of the second-order statistics of log normal fading in mobile radio environment. **IEEE Transactions on Communication**, v. 22, p. 869, jun. 1974.

LEE, W. C. Y. Cochannel interference reduction by using a notch in tilted antenna pattern. In: IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY SOCIETY, 35^{a.}, 1985. **35th IEEE Vehicular Technology Conference, 1985**. [S.l.], 1985a. v. 35, p. 67–72.

_____. Estimate of local average power of a mobile radio signal. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 34, p. 22, fev. 1985.

LOW, K. Comparison of urban propagation models with cw-measurements. In: IEEE, 42^{o.}, 1992, Denver, CO, USA. **IEEE 42nd Vehicular Technology Conference, 1992**: Frontiers of technology from pioneers to the 21st century. [S.l.]: IEEE, 1992. v. 2, p. 936–942. ISBN 0780306732.

OKUMURA, Y. et al. Field strength and its variability in vhf and uhf land-mobile radio service. **Review Electrical Communications Laboratory**, Musasino-si, Tokyo, Japan, v. 16, p. 825–873, 1968.

OLIVEIRA, R. M. S. **Método FDTD Aplicado na Análise da Propagação Eletromagnética em Ambientes Indoor e Outdoor**. 59 f. Trabalho de conclusão de curso — Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, fev. 2003. Disponível em: <<http://www.lane.ufpa.br/publicacoes/tcc-rodrigo.pdf>>.

PATRIOTA, G. D. **Projeto de Rádio Enlace – PRORADEN v.1**. Curitiba, PR, jun 2009. Planilha de cálculo.

PEREIRA, M. A. B. **Análise de Modelos de Propagação na Área Urbana da Região de Curitiba - PR na Faixa de Frequência de 1800 MHz**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Agosto 2007.

PETERNELA, A. L. **Modelo de propagação considerando difração no topo e nas laterais dos obstáculos**. 66 f. Dissertação (Dissertação) — Pontifícia Inuversidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Campinas, São Paulo, Brasil, 2009.

RIBEIRO, J. A. J. Propagação em Espaço Livre. In: _____. **Propagação de Ondas Eletromagnéticas: Princípios e Aplicações**. 1^{a.} ed. [S.l.]: Érica, 2004. p. 163–204 e 241–270. ISBN 857194993x.

ROOS, D. **HowStuffWorks - Como aproveitar melhor uma API para conferências on-line**. nov 2007. Site. Disponível em: <<http://informatica.hsw.uol.com.br/conferencia-api1.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

SALEMA, C. Feixes hertzianos. In: IST Press (Ed.). **Ensino da Ciência e da Tecnologia**. 2^a. ed. Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico, 2002. v. 4, p. 23–540. ISBN 972-8469-21-7.

SILVA, G.; BARRADAS, O. Sistemas radiovisibilidade. In: EMBRATEL (Ed.). **Telecomunicações**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos: Embratel, 1978. v. 1, p. 17–64.

SIQUEIRA, E. **Três momentos da história das telecomunicações no Brasil**. São Paulo, SP: Dezembro Editorial, 1997. 108 p.

TELECO. Bandas. In: _____. **Telefonia Celular**. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/Bandac.asp>>. Acesso em: 02 fev. 2011.

TELECOM ITALIA MOBILE (TIM). **Base de dados de antenas e testes de medição de sinal - GSM - Região central - Curitiba - Paraná - Brasil**. 2007.

TIZHOOSH, H. R. **Fuzzy Image Processing** *Fuzzy-Bildverarbeitung: Einführung in Theorie und Praxis*. 1. ed. Springer-Verlag, 1997. ISBN 3540631372. Disponível em: <<http://pami.uwaterloo.ca/tizhoosh/fip.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2010.

VOLPATO, G. L. **Dicas para redação científica: por que não somos citados**. 2. ed. [S.l.]: Gilson Luiz Volpato, Botucatu, 2006.

_____. **Bases teóricas para redação científica: por que seu artigo foi negado**. [S.l.]: Gilson Luiz Volpato, São Paulo, 2007a.

_____. **Ciência: da filosofia à publicação**. 5. ed. [S.l.]: Gilson Luiz Volpato, São Paulo, 2007b.

_____. **Publicação científica**. 3. ed. [S.l.]: Gilson Luiz Volpato, São Paulo, 2008.

WALTISCH, J.; BERTONI, H. L. A theoretical model of uhf propagation in urban environments. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 36, 12, p. 1788–1796, 1988.