



Jean Carneiro da Silva

**Influência da Vegetação no Desvanecimento
e na Perda de Percurso de Enlaces de
Radiocomunicação UHF na Faixa de 700 MHz**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica da PUC-Rio como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Gláucio Lima Siqueira

Rio de Janeiro

Agosto de 2014



Jean Carneiro da Silva

**Influência da Vegetação no Desvanecimento e
na Perda de Percurso de Enlaces de
Radiocomunicação UHF na Faixa de 700 MHz**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Glaucio Lima Siqueira
Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Profa. Leni Joaquim de Matos
UFF

Prof. Marco Antônio Grivet Mattoso Maia

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de agosto de 2014

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Jean Carneiro da Silva

Graduou-se em Engenharia Elétrica na UFPa (Universidade Federal do Pará) em 2005. Trabalhou em diversas empresas na área de tecnologia e atualmente cursa o doutorado em engenharia Elétrica no CETUC, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Ficha Catalográfica

Silva, Jean Carneiro da

Influência da Vegetação no Desvanecimento e na Perda de Percurso de Enlaces de Radiocomunicação UHF na Faixa de 700 MHz / Jean Carneiro da Silva; orientador: Glaucio Lima Siqueira. -2014.

247 f.: il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2014.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Propagação em UHF. 3. Propagação sobre áreas vegetadas. 4. Modelo de previsão de perdas. 5. Rádio propagação. I. Siqueira, Gláucio Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Para Deus e minha família.

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Gláucio Siqueira, pelo estímulo, parceria e grande ajuda.

Ao CAPES e a PUC-Rio pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não seria possível de ser realizado.

Ao corpo docente da PUC-Rio, pelos ensinamentos e ajuda prestada para a conclusão deste trabalho.

A UFPa nas pessoas do Professor Gervásio Cavalcante, Bruno Castro e Allan Costa, Pelos equipamentos e ajuda pessoal à execução das medições.

Ao INMETRO e equipe técnica de medições, em especial ao Dr. Pedro Castellanos, pela ajuda pessoal e material.

A Universidade Estadual do Pará (UEPa) e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belém (SEMMA), pela autorização de uso de suas instalações, necessárias à campanha de medições.

A todos os amigos e colegas que contribuíram criando sinergias que resultaram na execução deste estudo.

Resumo

Silva, Jean Carneiro; Siqueira, Gláucio Lima (Orientador). **Influência da Vegetação no Desvanecimento e na Perda de Percurso de Enlaces de Radiocomunicação UHF na Faixa de 700 MHz.** Rio de Janeiro, 2014, 247p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O esforço de caracterização da influência da vegetação sobre enlaces de radiocomunicação é de grande importância para o dimensionamento de modernos sistemas de comunicação. Baseado em uma extensa campanha de medições, este trabalho pretende caracterizar e propor um modelo de predição de perda de propagação sobre espaços vegetados em banda estreita na faixa de 700 MHz adequado às características morfológicas brasileiras.

Palavras-chave

Propagação em UHF; perdas em ambientes vegetados; rádio propagação; modelos e predição.

Abstract

Silva, Jean Carneiro; Siqueira, Gláucio Lima (Advisor). **Influence of Vegetation on Radio Communication Links Fading and Path Loss in UHF 700 MHz Range.** Rio de Janeiro, 2014, 247p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The characterization effort of vegetation influence on radiocommunication link fading has a great importance on the design of modern communication systems. Based on an intensive narrow band measurement campaign, this work intends to characterize and propose a model for predicting propagation loss over vegetated areas at the UHF range of 700 MHz.

Keywords

Propagation in UHF; losses in vegetação environments; radio propagation; predictionmn.

Sumário

Introdução	24
Breve Histórico das Comunicações Sem Fio	28
Objetivos	29
Estrutura do trabalho	31
1. Propagação, ambientes e vegetação	33
1.1. Considerações	33
1.2. Tipificação	34
2. Propagação	38
2.1. Introdução	38
2.2. Polarização e diagrama de irradiação	42
2.3. Propagação em espaço livre	44
2.4. Propagação em terra plana e esférica lisa	48
2.5. Propagação em terra rugosa	53
2.6. Efeitos atmosféricos	55
2.7. Propagação com obstáculos	56
2.8. Desvanecimento e multipercurso	65
2.9. Dispersão do sinal	72
2.10. Variabilidade Temporal do Canal	74
3. Modelos de predição de cobertura	76
3.1. Modelo de Egli	76
3.2. Modelo de Okumura <i>et al.</i>	77
3.3. Modelo de Okumura-Hata	80
3.4. Modelo de Walfish-Ikegami	81
4. Propagação sobre espaços vegetados	85
4.1. Modelo de Tamir	85
4.2. Modelo de Weissberger e desenvolvimentos	90

4.3. Modelo de Chen e Kuo	92
5. Sistema de medição	93
5.1. <i>Setup</i> utilizado em Belém-PA	93
5.2. <i>Setup</i> utilizado em Rio de Janeiro-RJ	100
5.3. Equipamentos de apoio	101
5.4. Balanço de potência dos enlaces	103
6. Campanha de medições	106
6.1. Sítios em Belém-PA	106
6.2. Sítio em Rio de Janeiro- RJ	116
7. Metodologia	120
7.1. Curva de ajuste	122
7.2. Posicionamento das antenas	123
7.3. Interpolação	125
7.4. Considerações	132
8. Resultados	135
8.1. Dependência da perda com a distância	135
8.1.1. Morfologia vegetal floresta	136
8.1.2. Morfologia vegetal bosque urbano	142
8.1.3. Morfologia vegetal linha de árvores	148
8.1.3.1. Análise geral para linha de árvores	160
8.1.4. Considerações gerais da perda com a distância nas morfologias	166
8.2. Dependência da perda com a frequência	169
8.2.1. Ambiente floresta	169
8.2.2. Ambiente bosque urbano	172
8.2.3. Ambiente linha de árvores	175
8.2.4. Análise individual dos parâmetros da reta	179
8.2.4.1. Floresta	179
8.2.4.1.1. Análise geral da perda inicial para floresta	181
8.2.4.1.2. Análise geral do <i>slope</i> para floresta	182

8.2.4.2. Bosque	183
8.2.4.2.1. Análise geral da perda inicial para bosque	185
8.2.4.2.2. Análise geral do <i>slope</i> para bosque	186
8.2.4.3. Linha de árvores	186
8.2.4.3.1. Análise geral da perda inicial para linha de árvores	189
8.2.4.3.2. Análise geral do <i>slope</i> para linha de árvores	189
8.3. Dependência da perda com a altura de transmissão	190
8.3.1. Ambiente floresta	191
8.3.1.1. Análise geral da perda com a altura de transmissão para floresta	194
8.3.2. Ambiente bosque	196
8.3.2.1. Análise geral da perda com a altura de transmissão para bosque	199
8.3.3. Ambiente linha de árvores	200
8.3.3.1. Análise geral da perda com a altura de transmissão para linha de árvores	204
8.4. Considerações sobre as estatísticas do sinal nos ambientes	205
8.4.1. Morfologia floresta	206
8.4.2. Morfologia bosque	207
8.4.3. Morfologia linha de árvores	208
8.5. Espécimes isolados	208
8.5.1. Jambeiro	210
8.5.2. Cajazeiro	215
8.5.3. Considerações sobre a perda devido à proximidade com uma árvore	219
9. Modelo geral de perda em propagação	221
9.1. Modelo geral para floresta	221
9.2. Modelo geral para bosque	223
9.3. Modelo geral para linha de árvores	225
9.4. Comparativo entre modelos	226
9.4.1. Floresta	227
9.4.2. Bosque	229
9.4.3. Linha de árvores	230

10. Conclusão	232
11. Contribuições	233
12. Sugestões para trabalhos futuros	233
13. Referências Bibliográficas	234
14. Apêndice I	238
15. Apêndice II	243
16. Apêndice III	244

Lista de figuras

Figura A: Vegetação com morfologia tipo A (Vila de Americano, Belém - PA)	26
Figura B: Vegetação com morfologia tipo B (Jardim Botânico, Belém - PA)	26
Figura C: Vegetação com morfologia tipo C (Vila de Americano, Belém - PA)	27
Figura D: Vegetação com morfologia tipo D (Vila de Americano, Belém - PA)	27
Figura 1.1: Transmissor e receptor a 1,5 metro do solo	36
Figura 1.2: Transmissor a 6 metros e receptor a 1,5 metro do solo	36
Figura 1.3: Transmissor e receptor acima da linha média das copas	36
Figura 2.1: Propagação dos campos elétrico e magnético na direção Z	38
Figura 2.2: Espectro Eletromagnético	39
Figura 2.3: Reflexão	40
Figura 2.4: Difração	41
Figura 2.5: Espalhamento na atmosfera	41
Figura 2.6: Polarização: (a) vertical, (b) horizontal, (c) elíptica	43
Figura 2.7: Diagrama de irradiação de um dipolo de meia onda	44
Figura 2.8: Irradiação isotrópica	45
Figura 2.9: Modelo de terra plana	49
Figura 2.10: Reflexão especular	49
Figura 2.11: Reflexão difusa	49
Figura 2.12: Representação da divergência dos raios em terra esférica	52
Figura 2.13: Modelo de superfície rugosa	53
Figura 2.14: Princípio de Huygens	56
Figura 2.15: Plano com orifício	57
Figura 2.16: Elipsóides e zonas de Fresnel	58

Figura 2.17: Semi-plano opaco	59
Figura 2.18: Curva do campo recebido	60
Figura 2.19: Diagrama de Bullington	60
Figura 2.20: Obstáculo de cume arredondado	61
Figura 2.21: Exemplo do método Deygout-Assis, para múltiplos obstáculos	64
Figura 2.22: Multipercurso	66
Figura 2.23: Sinal captado com a distância entre as antenas	67
Figura 2.24: Distribuições de Rice, normal e Rayleigh	69
Figura 2.25: Efeito Doppler: (a) parado, (b) em movimento	70
Figura 2.26: Modelo para o efeito Doppler	70
Figura 2.27: Perfil de retardos	73
Figura 3.1: Parâmetro $A(f,d)$	78
Figura 3.2: Fator de correção $G_{\text{área}}$	79
Figura 3.3: Fatores $G(h_t)$ e $G(h_r)$ e modelo intuitivo para o cálculo das alturas efetivas das antenas	79
Figura 3.4: Ângulo entre a onda incidente e a direção da rua	81
Figura 3.5: Diversos parâmetros do modelo	82
Figura 4.1: Modelo de três camadas	86
Figura 4.2: Onda lateral de Tamir, percurso Tx-A-B-Rx (primeira ordem) e percursos Tx-c-d-v-w-Rx e Tx-c-d-B-Rx (segunda ordem)	87
Figura 4.3: Distância de propagação em árvores	90
Figura 5.1: Esquema do bloco de transmissão	93
Figura 5.2: Gerador de sinais	94
Figura 5.3: Transmissor	94
Figura 5.4: Antenas de transmissão e recepção idênticas	95
Figura 5.5: Diagrama de irradiação horizontal da antena de transmissão	96
Figura 5.6: Diagrama de irradiação vertical da antena de transmissão	97
Figura 5.7: Teste de bancada, com a perda de retorno (potência máxima - 400 W)	97
Figura 5.8: Bloco de recepção	98

Figura 5.9: ANRITSU MS2692A, utilizado nas medições em Belém-PA	99
Figura 5.10: Rohde-Schwarz FSH-18, utilizado nas medições no Inmetro - Rio	101
Figura 5.11: Tripés e torre de antena desmontável armadas	102
Figura 5.12: Van de medições do Inmetro	102
Figura 6.1: Propriedade rural, na vila de Americano-PA	107
Figura 6.2: Pontos de coleta de dados e orientação de irradiação, em floresta	107
Figura 6.3: Bosque em primeiro plano e açazeiros ao fundo	109
Figura 6.4: Floresta amazônica preservada	110
Figura 6.5: Linhas de árvores	111
Figura 6.6: Pontos medição dados e orientação de irradiação na linha de árvores	112
Figura 6.7: Jambeiro	112
Figura 6.8: Perfil do terreno na medição da mata	113
Figura 6.9: Perfil do terreno na medição da linha	113
Figura 6.10: Jardim botânico de Belém	114
Figura 6.11: Jardim botânico de Belém, vista do solo	114
Figura 6.12: Pontos de coleta e direção de irradiação	115
Figura 6.13: Perfil do terreno na medição do jardim botânico em Belém	116
Figura 6.14: Sede do Inmetro- Rio em Xerém	117
Figura 6.15: Vista da linha de árvores a partir do solo	117
Figura 6.16: Pontos de coleta e direção de irradiação	118
Figura 6.17: Perfil do terreno na medição no Inmetro	119
Figura 7.1: Ângulo de meia potência	124
Figura 7.2: Distância mínima entre transmissor e receptor	124
Figura 7.3: Retas de ajuste tomadas em diferentes frequências, d em escala log.	126
Figura 7.4: Projeção das retas no plano $L \times d$, d em escala logarítmica	127
Figura 7.5: Ponderador em função da frequência	128
Figura 7.6: Projeção ($L \times d$) da reta interpolada de acordo com o	

ponderador	129
Figura 7.7: Superfície interpolada, d em escala logarítmica	129
Figura 7.8: Elipsóide de revolução	133
Figura 7.9: Filtro representativo	133
Figura 8.1: Reta de ajuste para 700 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	137
Figura 8.2: Reta de ajuste para 750 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	137
Figura 8.3: Reta de ajuste para 800 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	138
Figura 8.4: Reta de ajuste para 700 MHz a 6 metros de altura de transmissão	138
Figura 8.5: Reta de ajuste para 750 MHz a 6 metros de altura de transmissão	139
Figura 8.6: Reta de ajuste para 800 MHz a 6 metros de altura de transmissão	139
Figura 8.7: Reta de ajuste para 700 MHz a 12 metros de altura de transmissão	140
Figura 8.8: Reta de ajuste para 750 MHz a 12 metros de altura de transmissão	140
Figura 8.9: Reta de ajuste para 800 MHz a 12 metros de altura de transmissão	141
Figura 8.10: Localização da antena de transmissão	141
Figura 8.11: Reta de ajuste para 700 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	143
Figura 8.12: Reta de ajuste para 750 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	143
Figura 8.13: Reta de ajuste para 800 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	144
Figura 8.14: Reta de ajuste para 700 MHz a 6 metros de altura de transmissão	144
Figura 8.15: Reta de ajuste para 750 MHz a 6 metros de altura de transmissão	145
Figura 8.16: Reta de ajuste para 800 MHz a 6 metros de altura de	

transmissão	145
Figura 8.17: Reta de ajuste para 700 MHz a 12 metros de altura de transmissão	146
Figura 8.18: Reta de ajuste para 750 MHz a 12 metros de altura de transmissão	146
Figura 8.19: Reta de ajuste para 800 MHz a 12 metros de altura de transmissão	147
Figura 8.20: Interior do jardim botânico em Belém-PA	148
Figura 8.21: Reta de ajuste para 700 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	149
Figura 8.22: Reta de ajuste para 750 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	150
Figura 8.23: Reta de ajuste para 800 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	150
Figura 8.24: Reta de ajuste para 700 MHz a 6 metros de altura de transmissão	151
Figura 8.25: Reta de ajuste para 750 MHz a 6 metros de altura de transmissão	151
Figura 8.26: Reta de ajuste para 800 MHz a 6 metros de altura de transmissão	152
Figura 8.27: Reta de ajuste para 700 MHz a 12 metros de altura de transmissão	152
Figura 8.28: Reta de ajuste para 750 MHz a 12 metros de altura de transmissão	153
Figura 8.29: Reta de ajuste para 800 MHz a 12 metros de altura de transmissão	153
Figura 8.30: Linha de pinheiros em Americano-PA	154
Figura 8.31: Reta de ajuste para 700 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	155
Figura 8.32: Reta de ajuste para 750 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	155
Figura 8.33: Reta de ajuste para 800 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	156
Figura 8.34: Reta de ajuste para 700 MHz a 6 metros de altura de	

transmissão	156
Figura 8.35: Reta de ajuste para 750 MHz a 6 metros de altura de transmissão	157
Figura 8.36: Reta de ajuste para 800 MHz a 6 metros de altura de transmissão	157
Figura 8.37: Reta de ajuste para 700 MHz a 12 metros de altura de transmissão	158
Figura 8.38: Reta de ajuste para 750 MHz a 12 metros de altura de transmissão	158
Figura 8.39: Reta de ajuste para 800 MHz a 12 metros de altura de transmissão	159
Figura 8.40: Linha de árvores no Inmetro - Rio	159
Figura 8.41: Reta de ajuste geral, 700 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	161
Figura 8.42: Reta de ajuste geral, 750 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	161
Figura 8.43: Reta de ajuste geral, 800 MHz a 1,5 metro de altura de transmissão	162
Figura 8.44: Reta de ajuste geral, 700 MHz a 6 metros de altura de transmissão	162
Figura 8.45: Reta de ajuste geral, 750 MHz a 6 metros de altura de transmissão	163
Figura 8.46: Reta de ajuste geral, 800 MHz a 6 metros de altura de transmissão	163
Figura 8.47: Reta de ajuste geral, 700 MHz a 12 metros de altura de transmissão	164
Figura 8.48: Reta de ajuste geral, 750 MHz a 12 metros de altura de transmissão	164
Figura 8.49: Reta de ajuste geral, 800 MHz a 12 metros de altura de transmissão	165
Figura 8.50: Análise da perda inicial para o ambiente floresta	166
Figura 8.51: Análise da perda inicial para o ambiente Bosque	166
Figura 8.52: Análise da perda inicial para a linha de árvores	167
Figura 8.53: Análise do fator de atenuação com a distância para	

floresta	167
Figura 8.54: Análise do fator de atenuação com a distância para bosque	168
Figura 8.55: Análise do <i>slope</i> para a linha de árvores	168
Figura 8.56: Curvas de ajuste na altura de 1,5 metro, distância em escala log.	169
Figura 8.56b: Perda interpolada em função da distância e frequência, 1,5 metro	170
Figura 8.57: Curvas de ajuste na altura de 6 metros, distância em escala log.	170
Figura 8.58: Perda interpolada em função da distância e frequência, 6 metros	171
Figura 8.59: Curvas de ajuste na altura de 12 metros, distância em escala log.	171
Figura 8.60: Perda interpolada em função da distância e frequência, 12 metros	172
Figura 8.61: Curvas de ajuste na altura de 1,5 metro	172
Figura 8.62: Perda interpolada em função da distância e frequência, 1,5 metro	173
Figura 8.63: Curvas de ajuste na altura de 6 metros	173
Figura 8.64: Perda interpolada em função da distância e frequência, 6 metros	174
Figura 8.65: Curvas de ajuste na altura de 12 metros	174
Figura 8.66: Perda interpolada em função da distância e frequência, 12 metros	175
Figura 8.67: Curvas de ajuste na altura de 1,5 metro, distância em escala log.	175
Figura 8.68: Perda interpolada em função da distância e frequência, 1,5 metro	176
Figura 8.69: Curvas de ajuste na altura de 6 metros, distância em escala log.	176
Figura 8.70: Perda interpolada em função da distância e frequência, 6 metros	177
Figura 8.71: Curvas de ajuste na altura de 12 metros, distância em	

escala log.	177
Figura 8.72: Perda interpolada em função da distância e frequência, 12 metros	178
Figura 8.73: Perda inicial com a frequência de transmissão, 1,5 metro	179
Figura 8.74: <i>Slope</i> com a frequência de transmissão, 1,5 metro	179
Figura 8.75: Perda inicial com a frequência de transmissão, 6 metros	180
Figura 8.76: <i>Slope</i> com a frequência de transmissão, 6 metros	180
Figura 8.77: Perda inicial com a frequência de transmissão, 12 metros	180
Figura 8.78: <i>Slope</i> com a frequência de transmissão, 12 metros	181
Figura 8.79: Perda inicial com a frequência em todas as alturas de transmissão	181
Figura 8.80: <i>Slope</i> com a frequência em todas alturas de transmissão	182
Figura 8.81: Perda inicial com a frequência de transmissão, 1,5 metro	183
Figura 8.82: <i>Slope</i> com a frequência de transmissão, 1,5 metro	183
Figura 8.83: Perda inicial com a frequência de transmissão, 6 metros	184
Figura 8.84: <i>Slope</i> com a frequência de transmissão, 6 metros	184
Figura 8.85: Perda inicial com a frequência de transmissão, 12 metros	184
Figura 8.86: <i>Slope</i> com a frequência de transmissão, 12 metros	185
Figura 8.87: Perda inicial com a frequência em todas as alturas de transmissão	185
Figura 8.88: <i>Slope</i> com a frequência em todas as alturas de transmissão	186
Figura 8.89: Perda inicial com a frequência de transmissão, 1,5 metro	187
Figura 8.90: <i>Slope</i> com a frequência de transmissão, 1,5 metro	187
Figura 8.91: Perda inicial com a frequência de transmissão,	

6 metros	187
Figura 8.92: <i>Slope</i> com a frequência de transmissão, 6 metros	188
Figura 8.93: Perda inicial com a frequência de transmissão, 12 metros	188
Figura 8.94: <i>Slope</i> com a frequência de transmissão, 12 metros	188
Figura 8.95: Perda inicial com a frequência em todas as alturas de transmissão	189
Figura 8.96: <i>Slope</i> com a frequência em todas as alturas de transmissão	190
Figura 8.97: Curvas de ajuste na frequência de 700 MHz	191
Figura 8.98: Perda inicial com a altura de transmissão, 700 MHz	191
Figura 8.99: <i>Slope</i> com a altura de transmissão, 700 MHz	192
Figura 8.100: Curvas de ajuste na frequência de 750 MHz	192
Figura 8.101: Perda inicial com a altura de transmissão, 750 MHz	192
Figura 8.102: <i>Slope</i> com a altura de transmissão, 750 MHz	193
Figura 8.103: Curvas de ajuste na frequência de 800 MHz	193
Figura 8.104: Perda inicial com a altura de transmissão, 800 MHz	193
Figura 8.105: <i>Slope</i> com a altura de transmissão, 800 MHz	194
Figura 8.106: Perda inicial com a altura de transmissão e reta de ajuste	195
Figura 8.107: <i>Slope</i> com a altura de transmissão e reta de ajuste	195
Figura 8.108: Curvas de ajuste na frequência de 700 MHz	196
Figura 8.109: Perda inicial com a altura de transmissão, 700 MHz	196
Figura 8.110: <i>Slope</i> com a altura de transmissão, 700 MHz	197
Figura 8.111: Curvas de ajuste na frequência de 750 MHz	197
Figura 8.112: Perda inicial com a altura de transmissão, 750 MHz	197
Figura 8.113: <i>Slope</i> com a altura de transmissão, 750 MHz	198
Figura 8.114: Curvas de ajuste na frequência de 800 MHz	198
Figura 8.115: Perda inicial com a altura de transmissão, 800 MHz	198
Figura 8.116: <i>Slope</i> com a altura de transmissão, 800 MHz	199
Figura 8.117: Perda inicial com a altura de transmissão e reta de ajuste	199
Figura 8.118: <i>Slope</i> com a altura de transmissão e reta de ajuste	200
Figura 8.119: Curvas de ajuste na frequência de 700 MHz	201

Figura 8.120: Perda inicial com a altura de transmissão, 700 MHz	201
Figura 8.121: <i>Slope</i> com a altura de transmissão, 700 MHz	201
Figura 8.122: Curvas de ajuste na frequência de 750 MHz	202
Figura 8.123: Perda inicial com a altura de transmissão, 750 MHz	202
Figura 8.124: <i>Slope</i> com a altura de transmissão, 750 MHz	202
Figura 8.125: Curvas de ajuste na frequência de 800 MHz	203
Figura 8.126: Perda inicial com a altura de transmissão, 800 MHz	203
Figura 8.127: <i>Slope</i> com a altura de transmissão, 800 MHz	203
Figura 8.128: Perda inicial com a altura de transmissão e reta de ajuste	204
Figura 8.129: <i>Slope</i> com a altura de transmissão e reta de ajuste	205
Figura 8.130: Dispersão do erro com a frequência, para todas as alturas	206
Figura 8.131: Dispersão do desvio padrão com a frequência, para todas as alturas	206
Figura 8.132: Dispersão do erro com a frequência, para todas as alturas	207
Figura 8.133: Dispersão do desvio padrão com a frequência, para todas as alturas	207
Figura 8.134: Dispersão do erro com a frequência, para todas as alturas	208
Figura 8.135: Dispersão do desvio padrão com a frequência, para todas as alturas	208
Figura 8.136: Medição na espécie isolada	209
Figura 8.137: Atenuador de potência	210
Figura 8.138: Geometria simplificada	211
Figura 8.139: Perda com a distância para todas as frequências	211
Figura 8.140: Perda média com a distância para todas as frequências	212
Figura 8.141: Modelo geométrico simplificado	212
Figura 8.142: Perda com a distância para todas as frequências	213
Figura 8.143: Perda média com a distância para todas as frequências	213
Figura 8.144: Modelo geométrico simplificado	214

Figura 8.145: Perda com a distância para todas as frequências	214
Figura 8.146: Perda média com a distância para todas as frequências	215
Figura 8.147: Modelo geométrico simplificado	216
Figura 8.148: Perda com a distância para todas as frequências	216
Figura 8.149: Perda média com a distância para todas as frequências	217
Figura 8.150: Perda com a distância para todas as frequências	217
Figura 8.151: Perda média com a distância para todas as frequências	218
Figura 8.152: Perda com a distância para todas as frequências	218
Figura 8.153: Perda média com a distância para todas as frequências	219
Figura 9.1: Comparativo entre modelos na frequência de 700 MHz	227
Figura 9.2: Comparativo entre modelos na frequência de 750 MHz	228
Figura 9.3: Comparativo entre modelos na frequência de 800 MHz	228
Figura 9.4: Comparativo entre modelos na frequência de 700 MHz	229
Figura 9.5: Comparativo entre modelos na frequência de 750 MHz	229
Figura 9.6: Comparativo entre modelos na frequência de 800 MHz	230
Figura 9.7: Comparativo entre modelos na frequência de 700 MHz	230
Figura 9.8: Comparativo entre modelos na frequência de 750 MHz	231
Figura 9.9: Comparativo entre modelos na frequência de 800 MHz	231

Lista de tabelas

Tabela 2.1: Espectro na faixa de rádio	40
Tabela 4.1: Características elétricas e tipos de florestas	86
Tabela 5.1: Atenuação medida no cabo de transmissão	94
Tabela 5.2: Especificações das antenas	96
Tabela 5.3: Perdas no cabo de recepção	100
Tabela 5.4: Perdas no cabo de transmissão da van	100
Tabela 5.5: Perdas no cabo de transmissão para a altura de 1,5 metro	100
Tabela 5.6: Parâmetros do Balanço de potência calculados para Belém- PA	105
Tabela 5.7: Parâmetros do Balanço de potência calculados para Rio de Janeiro- RJ	105
Tabela 6.1: Localização dos pontos de medição, altitude e distância ao transmissor	108
Tabela 6.2: Pontos de medição, altitude e distância ao transmissor, na linha	111
Tabela 6.3: Pontos de medição, altitude e dist ao transmissor, jardim botânico	116
Tabela 6.4: Pontos de medição, altitude e dist. ao transmissor, Inmetro	119
Tabela 7.1: Distância mínima em função das alturas de transmissão	125