

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA

MÁRIO ALBERTO DA ROCHA SANCHES

MODELO HÍBRIDO PARA PREDIÇÃO DE PROPAGAÇÃO
EM AMBIENTES DE RÁDIO MÓVEL PARA SISTEMAS
SMC E SMP.

TM – XX-2003

UFPA/CT/PPGEE

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ

66.075-900 – BELÉM-PARÁ-BRASIL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA

MÁRIO ALBERTO DA ROCHA SANCHES

MODELO HÍBRIDO PARA PREDIÇÃO DE PROPAGAÇÃO
EM AMBIENTES DE RÁDIO MÓVEL PARA SISTEMAS
SMC E SMP.

Trabalho submetido à Banca
Examinadora do programa de Pós-
graduação em Engenharia Elétrica
para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Elétrica.

UFPA/CT/PPGEE

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ

66.075-900 – BELÉM-PARÁ-BRASIL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

***MODELO HÍBRIDO PARA PREDIÇÃO DE PROPAGAÇÃO EM
AMBIENTES DE RÁDIO MÓVEL PARA SISTEMAS
SMC E SMP.***

AUTOR: MÁRIO ALBERTO DA ROCHA SANCHES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA
APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES.

APROVADA EM: XX/XX/2003

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante (UFPA)
(Orientador)

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa (UFPA)
(Membro)

Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês (UFPA)
(Membro)

Prof. Dr. Fernando José da Silva Moreira (UFMG)
(Membro)

VISTO:

Prof. Dr. Tadeu da Mata Medeiros Branco (UFPA)
Coordenador do PPGEE/CT/UFPA

UFPA/CT/PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM-PARÁ-BRASIL

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Hortêncio Sanches, pela educação, amor, carinho e confiança dados durante toda a minha vida.

Ao meu filho Lucas Sanches, que este trabalho lhe sirva de inspiração de dedicação e busca do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Gervásio Cavalcante (orientador) pela amizade, confiança e conhecimentos repassados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), pelo apoio.

A minha esposa Luzinete Antunes Sanches, pela compreensão.

A meus irmãos Josiane, Cibelle e Renato.

Aos meus amigos: Andreyra Prestes, Johnny Marcus, Joseane Rodrigues os quais sempre estiveram do meu lado.

Aos amigos da divisão de infra-estrutura da VIVO: Valdir Pacheco, Salim Abdulmassih e Cleide Duarte, pela amizade e apoio.

Aos amigos do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado, pela amizade e companheirismo durante os últimos anos.

LISTA DE SÍMBOLOS

P	Matriz que contém as entradas da rede neural artificial
R	Número de entradas da rede neural artificial
W	Matriz de pesos da rede neural artificial
N	Estado de ativação de um neurônio artificial
F	Função de ativação de um neurônio artificial
A	Matriz que contém as saídas de uma rede neural artificial
e	Numero de Euler (2,71828182845904)
S	Número de saídas de uma rede neural artificial
σ	Desvio padrão
μ	Média da função gaussiana
E	Erro médio quadrático das saídas da rede neural artificial
η	Taxa de aprendizagem da rede neural artificial
β	Fator de momento da rede neural artificial
k	Índice indicador da interação na fase de treinamento da rede neural artificial
L	Perda estimada por um determinado modelo de predição
α	Expoente de perda de propagação
d	Distância entre transmissor e receptor móvel
d_{ref}	Distância de referência para o modelo da lei da potência
L_{ref}	Perda de referência para o modelo da lei da potência
L_0	Perda estimada pelo modelo do espaço livre
f	Frequência de transmissão
h_b	Altura da antena base (transmissora)
h_m	Altura da antena móvel (receptora)
$a(h_m)$	Fator de correção da altura da antena móvel
h	Altura média dos prédios
s	Largura da rua
G_b	Ganho da antena base (transmissora)
G_m	Ganho da antena móvel (receptora)
w	Distância entre o TM e os prédios na rua
λ	Comprimento de onda
Ψ	Número de onda
π	pi (3,14159265358979)
B_1	Porcentagem de prédios sobre o terreno
ϕ	Ângulo do enlace em relação a rua em graus
Pr	Potência recebida

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 2.1.	Neurônio Artificial.....	5
Figura 2.2.	Função Degrau.....	6
Figura 2.3.	Função Linear.....	6
Figura 2.4.	Função Bipolar.....	7
Figura 2.5.	Função Linear Saturada.....	7
Figura 2.6.	Função Sigmóide.....	8
Figura 2.7.	Função Tangente Hiperbólica.....	8
Figura 2.8.	Uma camada de neurônios artificiais.....	9
Figura 2.9.	Três camadas de neurônios artificiais.....	11
Figura 2.10.	RNA com fluxo <i>feedback</i>	12
Figura 2.11.	Função Gaussiana.....	18
Figura 3.1.	Percurso de propagação com a antena base acima dos prédios.....	28
Figura 3.2.	Percurso de propagação com a antena base abaixo dos prédios.....	30
Figura 3.3.	Geometria da vizinhança do terminal móvel.....	31
Figura 3.4.	Parâmetros do Modelo de Walfisch-Ikegami	
	(a) Geometria do Modelo	36
	(b) Orientação do Enlace em relação a rua.....	37
Figura 4.1.	Estrutura do modelo híbrido de predição.....	48
Figura 5.1.	Rotas de medições na faixa de 800MHZ.....	51
Figura 5.2.	Rotas de medições na faixa de 1,8GHZ.....	53

Figura 5.3.	Faixas de 100m de largura.....	55
Figura 5.4.	Gráfico da estimativa dos modelos empíricos de predição para a rota 1.....	59
Figura 5.5.	Gráfico da estimativa dos modelos adaptados de predição para a rota 1.....	61
Figura 5.6.	Gráfico comparativo entre os desempenhos das RNA's de cada modelo híbrido de predição para a rota 1.....	62
Figura 5.7.	Gráfico da estimativa dos modelos híbridos de predição para a rota 1.....	63
Figura 5.8.	Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Okumura-Hata para a rota 1.....	64
Figura 5.9.	Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Walfisch-Bertoni para a rota 1.....	64
Figura 5.10.	Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Maciel-Bertoni-Xia para a rota 1.....	65
Figura 5.11.	Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Ibrahim-Parsons para a rota 1.....	65
Figura 5.12.	Gráfico da estimativa dos modelos empíricos de predição para a rota 2.....	68
Figura 5.13.	Gráfico da estimativa dos modelos adaptados de predição para a rota 2.....	69
Figura 5.14.	Gráfico comparativo entre os desempenhos das RNA's de cada modelo híbrido de predição para a rota 2.....	70
Figura 5.15.	Gráfico da estimativa dos modelos híbridos de predição para a rota 2.....	71
Figura 5.16.	Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Okumura-Hata para a rota 2.....	72

Figura 5.17. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Walfisch-Bertoni para a rota 2.....	72
Figura 5.18. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Maciel-Bertoni-Xia para a rota 2.....	73
Figura 5.19. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Ibrahim-Parsons para a rota 2.....	73
Figura 5.20. Gráfico da estimativa dos modelos empíricos de predição para a rota 1.....	76
Figura 5.21. Gráfico da estimativa dos modelos adaptados de predição para a rota 1.....	77
Figura 5.22. Gráfico comparativo entre os desempenhos das RNA's de cada modelo híbrido de predição para a rota 1.....	79
Figura 5.23. Gráfico da estimativa dos modelos híbridos de predição para a rota 1.....	80
Figura 5.24. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Okumura-Hata Modificado para a rota 1.....	81
Figura 5.25. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de COST231-Hata para a rota 1.....	81
Figura 5.26. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Walfisch-Ikegami para a rota 1.....	82
Figura 5.27. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Ericsson-Hata para a rota 1.....	82
Figura 5.28. Gráfico da estimativa dos modelos empíricos de predição para a rota 2.....	85
Figura 5.29. Gráfico da estimativa dos modelos adaptados de predição para a rota 2.....	86

Figura 5.30. Gráfico comparativo entre os desempenhos das RNA's de cada modelo híbrido de predição para a rota 2.....	87
Figura 5.31. Gráfico da estimativa dos modelos híbridos de predição para a rota 2.....	88
Figura 5.32. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Okumura-Hata Modificado para a rota 2.....	89
Figura 5.33. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de COST231-Hata para a rota 2.....	90
Figura 5.34. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Walfisch-Ikegami para a rota 2.....	90
Figura 5.35. Gráfico da estimativa dos modelos empírico, adaptado e híbrido de Ericsson-Hata para a rota 2.....	91
Tabela 3.1. Parâmetros do Modelo de Okumura-Hata e suas faixas de validade.....	27
Tabela 3.2. Parâmetros do Modelo de Walfisch-Bertoni.....	29
Tabela 3.3. Parâmetros do Modelo de Maciel-Bertoni-Xia.....	32
Tabela 3.4. Parâmetros do Modelo de Ibrahim-Parsons.....	33
Tabela 3.5. Parâmetros do Modelo de Okumura-Hata Modificado.....	34
Tabela 3.6. Parâmetros do Modelo de COST231-Hata.....	36
Tabela 3.7. Parâmetros do Modelo de Walfisch-Ikegami.....	37
Tabela 3.8. Parâmetros do Modelo de Walfisch-Ikegami e suas faixas de validade.....	39
Tabela 5.1. Parâmetros da campanha de medições utilizados nos modelos empíricos de predição para a faixa de 800MHZ.....	52

Tabela 5.2.	Parâmetros da campanha de medições utilizados nos modelos empíricos de predição para a faixa de 1,8GHz.....	54
Tabela 5.3.	Parâmetros utilizados na fase de treinamento das RNA's.....	56
Tabela 5.4.	Valores de α para a rota 1.....	58
Tabela 5.5.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos empíricos para a rota 1.....	59
Tabela 5.6.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos adaptados para a rota 1.....	60
Tabela 5.7.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes das RNA's de cada modelo híbrido de predição para a rota 1.....	62
Tabela 5.8.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos híbridos para a rota 1.....	63
Tabela 5.9.	Valores de α para as rotas 1 e 2.....	67
Tabela 5.10.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos empíricos para a rota 2.....	67
Tabela 5.11.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos adaptados para a rota 2.....	68
Tabela 5.12.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes das RNA's de cada modelo híbrido de predição para a rota 2.....	69
Tabela 5.13.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos híbridos para a rota 2.....	70
Tabela 5.14.	Valores de α para a rota 1.....	75
Tabela 5.15.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos empíricos para a rota 1.....	75
Tabela 5.16.	Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos adaptados para a rota 1.....	77

Tabela 5.17. Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes das RNA's de cada modelo híbrido de predição para a rota 1.....	78
Tabela 5.18. Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos híbridos para a rota 1.....	79
Tabela 5.19. Valores de α para as rotas 1 e 2.....	84
Tabela 5.20. Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos empíricos para a rota 2.....	84
Tabela 5.21. Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos adaptados para a rota 2.....	86
Tabela 5.22. Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes das RNA's de cada modelo híbrido de predição para a rota 2.....	87
Tabela 5.23. Erros médios absolutos, desvios padrão e erros eficazes dos modelos híbridos para a rota 2.....	88

LISTA DE ABREVIACÕES

Abreviatura	Extenso	Página
ERB	Estação Rádio Base.....	1
RNA	Rede Neural Artificial.....	1
TM	Terminal Móvel.....	27
LOS	<i>Line-Sight</i> – Linha de visada.....	37
NLOS	<i>Non-Line-Sight</i> - Sem linha de visada.....	37
MHP	Modelos Híbridos de Predição.....	42
O-H	Okumura-Hata.....	58
W-B	Walfisch-Bertoni.....	58
M-B-X	Maciel-Bertoni-Xia.....	58
I-P	Ibrahim-Parsons.....	58
O-H-A	Okumura-Hata adaptado.....	60
W-B-A	Walfisch-Bertoni adaptado.....	60
M-B-X-A	Maciel-Bertoni-Xia adaptado.....	60
I-P-A	Ibrahim-Parsons adaptado.....	60
RNA-O-H	Rede neural artificial do modelo híbrido de Okumura-Hata.....	62
RNA-W-B	Rede neural artificial do modelo híbrido de Walfisch-Bertoni.....	62
RNA-M-B-X	Rede neural artificial do modelo híbrido de Maciel-Bertoni-Xia.....	62
RNA-I-P	Rede neural artificial do modelo híbrido de Ibrahim-Parsons.....	62
O-H-H	Okumura-Hata híbrido.....	63
W-B-H	Walfisch-Bertoni híbrido.....	63
M-B-X-H	Maciel-Bertoni-Xia híbrido.....	63
I-P-H	Ibrahim-Parsons híbrido.....	63
O-H-M	Okumura-Hata Modificado.....	75

C-H	COST231-Hata.....	75
W-I	Walfisch-Ikegami.....	75
E-H	Ericsson-Hata.....	75
O-H-M-A	Okumura-Hata Modificado adaptado.....	76
C-H-A	COST231-Hata adaptado.....	76
W-I-A	Walfisch-Ikegami adaptado.....	76
E-H-A	Ericsson-Hata adaptado.....	76
RNA-O-H-M	Rede neural artificial do modelo híbrido de Okumura-Hata Modificado.....	78
RNA-C-H	Rede neural artificial do modelo híbrido de COST231-Hata.....	78
RNA-W-I	Rede neural artificial do modelo híbrido de Walfisch-Ikegami.....	78
RNA-E-H	Rede neural artificial do modelo híbrido de Ericsson-Hata.....	78
O-H-M-H	Okumura-Hata Modificado híbrido.....	79
C-H-H	COST231-Hata híbrido.....	79
W-I-H	Walfisch-Ikegami híbrido.....	79
E-H-H	Ericsson-Hata híbrido.....	79

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 – REDES NEURAIS ARTIFICIAIS.....	3
2.1 – INTRODUÇÃO.....	3
2.2 – CONCEITOS BÁSICOS.....	4
2.2.1 – Neurônios Artificiais.....	3
2.2.2 – Uma Camada de Neurônios Artificiais.....	9
2.3 – CLASSIFICAÇÃO.....	12
2.4 – PROCESSO DE APRENDIZADO.....	13
2.5 – COLETA DE DADOS E SEPARAÇÃO E CONJUNTOS.....	15
2.6 – FASE DE TESTE.....	15
2.7 – ARQUITETURAS.....	16
2.7.1 – <i>Perceptron</i>	16
2.7.1 – <i>Adelaine</i>	16
2.7.3 – <i>Kohonen</i>	17
2.7.4 – <i>Hopfield</i>	17
2.7.5 – <i>Redes de Funções Bases Radiais</i>	18
2.7.6 – <i>Adaptive Resonance Theory</i>	19
2.8 – <i>BACPROPAGATION</i>	19
2.8.1 – Algoritmo de Aprendizado <i>Backpropagation</i>	20
2.8.2– Deficiências do <i>Backpropagation</i>	21
2.8 – TAXA DE APRENDIZAGEM (η).....	22
CAPÍTULO 3 – MODELOS EMPÍRICOS DE PREDIÇÃO.....	24

3.1 – INTRODUÇÃO.....	24
3.2 – MODELOS EMPÍRICOS DE PREDIÇÃO PARA A FAIXA DE 800MHZ.....	25
3.2.1– Modelo de Okumura-Hata.....	25
3.2.2– Modelo de Walfisch-Bertoni.....	28
3.2.3– Modelo de Maciel-Bertoni-Xia.....	30
3.2.4– Modelo de Ibrahim-Parsons.....	32
3.3 – MODELOS EMPÍRICOS DE PREDIÇÃO PARA A FAIXA DE 1,8GHZ.....	33
3.3.1– Modelo de Okumura-Hata Modificado.....	33
3.3.2– Modelo de COST231-Hata.....	35
3.3.3– Modelo de Walfisch-Ikegami.....	36
3.3.4– Modelo de Ericsson-Hata.....	39
3.4 – CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PERDA DE PROPAGACÃO (α).....	40

CAPÍTULO 4 – MODELOS DE PREDIÇÃO ADAPTADOS E HÍBRIDOS.....	42
4.1 – INTRODUÇÃO.....	42
4.2 – MODELOS PREDIÇÃO ADAPTADOS.....	42
4.2.1– Modelos Adaptados para a Faixa de 800MHZ.....	44
4.2.1.1– Modelo Adaptado de Okumura-Hata.....	44
4.2.1.2– Modelo Adaptado de Walfisch-Bertoni.....	45
4.2.1.3– Modelo Adaptado de Maciel-Bertoni-Xia.....	45
4.2.1.4– Modelo Adaptado de Ibrahim-Parsons.....	46
4.2.2– Modelos Adaptados para a Faixa de 1,8GHZ.....	46
4.2.2.1– Modelo Adaptado de Okumura-Hata Modificado.....	46
4.2.2.2– Modelo Adaptado de COST231-Hata.....	46
4.2.2.3– Modelo Adaptado de Walfisch-Ikegami.....	47
4.2.2.4– Modelo Adaptado de Ericsson-Hata.....	47
4.3 – MODELOS HÍBRIDOS DE PREDIÇÃO.....	48
 CAPÍTULO 5 – MEDIÇÕES DE CAMPO E RESULTADOS OBTIDOS.....	 50
5.1 – INTRODUÇÃO.....	50
5.2 – CAMPANHA DE MEDIÇÕES.....	50
5.2.1 – Medições na Faixa de 800MHZ.....	50
5.2.2 – Medições na Faixa de 1,8GHZ.....	52
5.3 – MODELOS PONTO-ÁREA.....	54
5.4 – IMPLEMENTAÇÃO DAS RNA’S QUE COMPORÃO OS MODELOS HÍBRIDOS DE PREDIÇÃO.....	55

5.5 – COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS.....	57
5.6 – RESULTADOS OBTIDOS.....	58
5.6.1 – Resultados Obtidos para a Faixa de 800MHZ.....	58
5.6.2 – Resultados Obtidos para a Faixa de 1,8GHZ.....	75
 CAPÍTULO 6 – COCLUSÃO.....	 93
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 96
 APÊNDICE A – PREDIÇÕES PARA A FAIXA DE 800MHZ.....	 99
TABELA A1 – ESTIMATIVA DOS MODELOS EMPÍRICOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 1.....	99
TABELA A2 – ESTIMATIVA DOS MODELOS ADAPTADOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 1.....	100
TABELA A3 – ERRO ABSOLUTO DA PREDIÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE CADA UM DOS MODELOS ADAPTADOS PARA A ROTA 1.....	101
TABELA A4 – SAÍDA DAS REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS PARA A ROTA 1 (ROTA DE TREINAMENTO).....	102
TABELA A5 – ESTIMATIVA DOS MODELOS HÍBRIDOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 1.....	103
TABELA A6 – ESTIMATIVA DOS MODELOS EMPÍRICOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 2.....	104
TABELA A7 – ESTIMATIVA DOS MODELOS ADAPTADOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 2.....	105
TABELA A8 – SAÍDA DAS REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS PARA A ROTA 2 (ROTA DE TESTE).....	106

TABELA A9 – ERRO ABSOLUTO DA PREDIÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE CADA UM DOS MODELOS ADAPTADOS PARA A ROTA 2.....	107
TABELA A10 – ESTIMATIVA DOS MODELOS HÍBRIDOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 2.....	108

APÊNDICE B – PREDIÇÕES PARA A FAIXA DE 1,8GHZ.....	109
--	-----

TABELA B1 – ESTIMATIVA DOS MODELOS EMPÍRICOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 1.....	109
--	-----

TABELA B2 – ESTIMATIVA DOS MODELOS ADAPTADOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 1.....	110
--	-----

TABELA B3 – ERRO ABSOLUTO DA PREDIÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE CADA UM DOS MODELOS ADAPTADOS PARA A ROTA 1.....	111
--	-----

TABELA B4 – SAÍDA DAS REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS PARA A ROTA 1 (ROTA DE TREINAMENTO).....	112
--	-----

TABELA B5 – ESTIMATIVA DOS MODELOS HÍBRIDOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 1.....	113
---	-----

TABELA B6 – ESTIMATIVA DOS MODELOS EMPÍRICOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 2.....	114
--	-----

TABELA B7 – ESTIMATIVA DOS MODELOS ADAPTADOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 2.....	115
--	-----

TABELA B8 – SAÍDA DAS REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS PARA A ROTA 2 (ROTA DE TESTE).....	116
--	-----

TABELA B9 – ERRO ABSOLUTO DA PREDIÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE CADA UM DOS MODELOS ADAPTADOS PARA A ROTA 2.....	117
--	-----

TABELA B10 – ESTIMATIVA DOS MODELOS HÍBRIDOS DE PREDIÇÃO PARA A ROTA 2.....	118
--	-----

RESUMO

Este trabalho consiste na implementação e avaliação do desempenho de duas técnicas para otimização dos modelos empíricos de propagação para as faixas de 800 MHz e 1,8 GHz. A primeira técnica é baseada no método numérico do mínimo erro médio quadrático sendo esses novos modelos denominados de modelos adaptados de predição, a outra técnica baseia-se na utilização das redes neurais artificiais em conjunto com os modelos adaptados de predição sendo esses tipos de modelos denominados de modelos híbridos (neuro-adaptados).

O uso das duas técnicas propostas tem como objetivo otimizar os modelos empíricos de predição, através da abstração de parâmetros que caracterizam a área de interesse. Esta abstração é obtida através da capacidade das redes neurais artificiais em realizar o mapeamento não-linear das características do ambiente que influenciam na intensidade do sinal.

Dados experimentais de cobertura para a área metropolitana de Belém do Pará, obtidos pelas operadoras das bandas A, B correspondendo a faixa de 800MHz e banda D (1,8 GHz) foram utilizados neste trabalho.

Para ambas as faixas de frequências consideradas neste trabalho, os modelos propostos apresentaram uma melhoria significativa na predição de perdas de propagação em comparação com seus respectivos modelos de predição convencionais.

Palavras-chaves – modelos empíricos de propagação, método do mínimo erro médio quadrático, redes neurais artificiais.

ABSTRACT

This work presents an implementation and a performance evaluation of two techniques for optimization of propagation empiric models at 800 MHz and 1.8 GHz bands. The former technique is based on the squared mean numeric method, which is denominated adaptive predict models. The second technique is based on artificial neural network associated with adaptive predict models, called hybrid models (*neuro-adaptive*).

The goal of these techniques is to optimize the predict propagation empiric models by means of abstraction of parameters that characterize the studied environment. This abstraction is obtained considering the natural ability of the artificial neural network to carry out the non-linear mapping of the environment characteristics that influence the signal intensity.

Aiming at verifying the proposed models accuracy, the expected results are compared with obtained measurements in urban area of *Belém-Pará-Brazil*.

This work presents experimental data supplied by telephonic companies in A and B bands corresponding 800MHz, and D band at 1,8 GHz. In both the bands considered, the proposed models had a significant improvement comparing with the respective traditional predict propagation models.