

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

CARLA MATHEUS MOREIRA VIEIRA

INTERFERÊNCIA NO SISTEMA WCDMA

NITERÓI
2010

CARLA MATHEUS MOREIRA VIEIRA

INTERFERÊNCIA NO SISTEMA WCDMA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Comunicações Móveis

Orientador: Prof M.Sc. MAURO SOARES DE ASSIS

Niterói

2010

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

V658 Vieira, Carla Matheus Moreira.
Interferência no sistema WCDMA / Carla Matheus Moreira
Vieira. – Niterói, RJ : [s.n.], 2010.
178 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) -
Universidade Federal Fluminense, 2010.
Orientador: Mauro Soares de Assis.

1. Sistema de comunicação móvel. 2. Sistema móvel de terceira
geração. 3. Acesso múltiplo por divisão de código em banda larga. I.
Título.

CDD 621.38456

CARLA MATHEUS MOREIRA VIEIRA

INTERFERÊNCIA NO SISTEMA WCDMA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Comunicações Móveis.

Aprovada em setembro de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Mauro Soares de Assis – Orientador
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Vale
Universidade Federal Fluminense

Prof. M.Sc. José Afonso Cosmo Júnior
Agência Nacional de Telecomunicações

Prof. Dr. Maurício Henrique Costa Dias
Instituto Militar de Engenharia

Niterói

2010

Dedico este trabalho à minha família, minha mãe
Maria Cristina e a meu esposo Mateus.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me concedido a graça da perseverança para não desanimar nos momentos difíceis e por me permitir alcançar meus objetivos com saúde e paz.

À minha família por todo suporte e compreensão.

À minha mãe, por todas as palavras e gestos de apoio.

Ao meu esposo, por toda dedicação e paciência dispensadas para que eu pudesse concluir mais essa etapa.

Ao meu orientador, professor Mauro Soares de Assis, pela paciência, amizade e pela sabedoria com que soube lidar com os problemas enfrentados durante a elaboração da dissertação realizando um ótimo trabalho como orientador.

Finalmente, devo agradecer ao coordenador do curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da UFF, professor Carlos Alberto Malcher e à secretária administrativa, Marize dos Reis Peluso, por toda a ajuda dispensada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	14
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	15
1 INTRODUÇÃO	21
1.1 MOTIVAÇÃO	25
1.2 OBJETIVOS.....	29
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	31
2 SISTEMA WCDMA.....	33
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	33
2.2 ESPALHAMENTO ESPECTRAL	40
2.2.1 Tolerância à interferência de faixa estreita	43
2.2.2 Tolerância à interferência Faixa Larga.....	44
2.2.3 Espalhamento Espectral por Sequência Direta	44
2.3 ARQUITETURA DA REDE	45
2.4 PLANEJAMENTO DE REDES WCDMA	47
2.4.1 Questões específicas do cálculo de enlace no WCDMA.....	49
2.4.2 Indicadores de desempenho do enlace rádio no WCDMA	50
2.4.2.1 Taxa de Erro de Bloco (BLER)	52
2.4.2.2 Taxa de Erro de Bit (BER)	52
2.4.2.3 Taxa de Bit (R)	52
2.4.2.4 E_b/N_0 e Ortogonalidade (α).....	52
2.4.2.5 E_c/I_0	53
2.4.2.6 E_c/I_{or}	54
2.4.2.7 Aumento médio de potência	54
2.4.2.8 Margem de Controle de Potência.....	55
2.4.2.9 Ganho de combinação de macro diversidade (MDC – <i>Macro Diversity Combining Gain</i>).....	55
2.4.2.10 Interferência (i)	56
2.4.2.11 Fator de Geometria (G).....	56
2.4.3 Cálculo do Enlace de subida	57
2.4.4 Cálculo do Enlace de descida.....	59
2.4.5 Estimativa da sensibilidade do receptor.....	61
2.4.6 Margem de Sombreamento e Estimativa de Ganho de Soft Handover	62
2.4.7 Raio da célula e estimativa da Área de Cobertura.....	64
3 GESTÃO DE RECURSOS RÁDIO.....	66
3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	66
3.2 CONTROLE DE POTÊNCIA	68
3.2.1 Controle de potência de malha aberta.....	69
3.2.1.1 Controle de potência de malha aberta do enlace de subida.....	69
3.2.1.2 Controle de potência de malha aberta no enlace de descida	70
3.2.2 Controle de potência de malha fechada	70
3.2.2.1 Controle de potência de malha fechada no enlace de subida	74
3.2.2.2 Controle de potência de malha fechada no enlace de descida.....	75
3.3 CONTROLE DE HANDOVER	76

3.3.1 Handover no mesmo Sistema (Intra-system)	78
3.3.1.1 Processo de Soft/Softer Handover (Intra-frequency Soft/Softer Handover)	78
3.3.1.2 Processo de Hard Handover utilizando a mesma frequência (Intra-system–Intra-frequency Hard Handover).....	79
3.3.1.3 Processo de Hard Handover utilizando frequências diferentes (Intra-system– Inter-frequency Hard Handover).....	80
3.3.2 Handover entre Sistemas diferentes (Inter-system)	81
3.4 CONTROLE DE CONGESTIONAMENTO	83
3.4.1 Controle de Admissão	83
3.4.1.1 Controle de admissão baseado em potência de faixa larga	84
3.4.1.2 Controle de admissão baseado na taxa de transferência.....	85
3.4.2 Gerenciamento dos pacotes de dados.....	86
3.4.3 Controle de Carga.....	86
3.4.3.1 Carga baseada na potência de faixa larga	87
3.4.3.2 Carga baseada na taxa de transferência.....	89
3.5 GERENCIADOR DE RECURSOS.....	89
4 MECANISMOS DE INTERFERÊNCIA E METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO.....	91
4.1 INTERFERÊNCIA NO SISTEMA WCDMA	91
4.1.1 Interferência de Canal Adjacente (ACI).....	92
4.1.1.1 Parâmetros de Referência	93
4.1.1.2 Perda Mínima de Acoplamento (MCL)	94
4.1.1.3 Cenários de Análise de Interferência	95
4.1.1.3.1 Estações em posições distintas.....	95
4.1.1.3.2 Estações Co-localizadas.....	96
4.2 METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO	96
4.2.1 Modelos de propagação.....	97
4.2.1.1 Modelo de Okumura-Hata	98
4.2.1.2 Modelo de Walfisch–Ikegami.....	99
4.2.1.3 Modelo para Micro-células	101
4.2.2 Cálculo da Potência de Transmissão.....	101
4.2.2.1 Cálculo da potência de transmissão no enlace de subida	101
4.2.2.2 Cálculo da potência de transmissão no enlace de descida.....	104
4.2.3 Cálculo de Interferência no Canal Adjacente	107
4.2.3.1 Cálculo da ACI no enlace de subida	108
4.2.3.2 Cálculo da ACI no enlace de descida.....	109
4.2.4 Estimativa da carga no enlace de subida	110
4.2.5 Estimativa da carga no enlace de descida.....	111
4.2.6 Estimativa da Probabilidade de Cobertura	114
5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....	116
5.1 ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO	116
5.1.1 Ganho de Setorização	118
5.1.2 Otimização da Inclinação do Feixe da Antena da ERB	119
5.1.3 Emprego de MHA nas Estações Rádio Base	121
5.1.4 Consolidação dos resultados numéricos.....	122
5.2 ESTUDO DA INTERFERÊNCIA NO CANAL ADJACENTE	123
5.2.1 Cenário urbano denso em 2100 MHz	123
5.2.2 Cenário urbano denso em 850 MHz	135
5.2.3 Cenário urbano em 2100 MHz	142
5.2.4 Cenário urbano em 850 MHz	150
6 CONCLUSÕES.....	158
REFERÊNCIAS	161

ANEXOS	164
ANEXO 1: DESCRIÇÃO DOS CANAIS DO SISTEMA WCDMA	165
ANEXO 2: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ESTIMATIVA DE COBERTURA NA PRESENÇA DE ACI	170

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Número de celulares no mundo (Fonte: UIT, Wireless Intelligence e GSA).....	21
Figura 1.2: Número de celulares no Brasil (Fonte: www.teleco.com.br).....	22
Figura 1.3: Evolução das tecnologias de Sistemas Celulares.....	24
Figura 1.4: Número de celulares 3G no mundo (Fonte: GSM Assoc, GSA e CDG)	25
Figura 1.5: Número de redes 3G no mundo	26
Figura 1.6: Número de celulares 3G no Brasil (Fonte: www.teleco.com.br e Anatel).....	26
Figura 1.7: Faixas de frequências autorizadas no Brasil para implantação das redes 3G (Fonte: www.anatel.gov.br).....	30
Figura 2.1: Conceito da Modulação por Espalhamento Espectral com técnica de Sequência Direta (CDMA)	41
Figura 2.2: Espalhamento e Desespalhamento no DS-CDMA.....	41
Figura 2.3: Princípio do receptor de correlação do CDMA	42
Figura 2.4: Processo de desespalhamento na presença de interferência.....	43
Figura 2.5: Elementos da rede UMTS	46
Figura 2.6: Cálculo do raio da célula.....	51
Figura 2.7: Eficiência do controle de potência em simulação com estação móvel em baixa velocidade	54
Figura 2.8: Iterações de cálculo de capacidade e cobertura	61
Figura 3.1: Distribuição das funções de gestão dos recursos radio no WCDMA Release 99 ..	67
Figura 3.2: Controle de potência de malha fechada	68
Figura 3.3: Compensação de desvanecimento pelo controle de potência de malha fechada ...	71
Figura 3.4: Controle de potência de malha fechada / Controle externo no enlace de subida e de descida	72
Figura 3.5: Controle externo.....	73
Figura 3.6: Controle de potência de malha fechada durante o <i>handover</i>	75
Figura 3.7: <i>Soft handover</i>	77
Figura 3.8: <i>Softer handover</i>	77
Figura 3.9: <i>Hard handover</i> entre portadoras diferentes do mesmo sistema WCDMA	80
Figura 3.10: <i>Hard handover</i> entre portadoras diferentes de camadas separadas do mesmo sistema WCDMA	81
Figura 3.11: <i>Hard handover</i> entre sistemas diferentes (Ex: WCDMA e GSM).....	82
Figura 3.12: Interação das ações de CA, LC e PS no controle da carga do sistema	88
Figura 4.1: Cenário do pior caso para intra-system ACI	95
Figura 4.2: Parâmetros do modelo de Walfisch-Ikegami.....	100
Figura 4.3: Fluxograma de iteração no enlace de subida	102
Figura 4.4: Fluxograma de iteração no enlace de descida.....	105
Figura 4.5: ACI no enlace de subida	108
Figura 4.6: ACI no enlace de descida	109
Figura 4.7: Gráfico de cobertura para o canal dedicado no enlace de subida	115
Figura 4.8: Gráfico de cobertura para o canal dedicado no enlace de descida.....	115
Figura 5.1 - Ambiente de simulação de otimização	118
Figura 5.2 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 1	124
Figura 5.3 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 2	124
Figura 5.4 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI	125
Figura 5.5 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI	125
Figura 5.6 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR	126
Figura 5.7 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR	126

Figura 5.8 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização.	127
Figura 5.9 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização.	127
Figura 5.10 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 isolada	128
Figura 5.11 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 isolada	129
Figura 5.12 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 isolada	129
Figura 5.13 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 isolada	129
Figura 5.14 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 na presença de ACI	130
Figura 5.15 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 na presença de ACI	130
Figura 5.16 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 na presença de ACI	131
Figura 5.17 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 na presença de ACI	131
Figura 5.18 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI	132
Figura 5.19 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI	132
Figura 5.20 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR	133
Figura 5.21 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR	133
Figura 5.22 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização	134
Figura 5.23 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização	134
Figura 5.24 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 1	135
Figura 5.25 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 2	136
Figura 5.26 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI	137
Figura 5.27 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI	137
Figura 5.28 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR	138
Figura 5.29 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR	138
Figura 5.30 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização	138
Figura 5.31 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização	139
Figura 5.32 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI	140
Figura 5.33 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI	140
Figura 5.34 - Redução de Capacidade da Op1 em função da ACIR	141
Figura 5.35 - Redução de Capacidade da Op2 em função da ACIR	141
Figura 5.36 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização	141
Figura 5.37 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização	142
Figura 5.38 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 1	143
Figura 5.39 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 2	143
Figura 5.40 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI	144
Figura 5.41 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI	144
Figura 5.42 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR	145
Figura 5.43 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR	145
Figura 5.44 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização	145
Figura 5.45 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização	

.....	146
Figura 5.46 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI	147
Figura 5.47 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI	147
Figura 5.48 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR	148
Figura 5.49 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR	148
Figura 5.50 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização	149
Figura 5.51 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização	149
Figura 5.52 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 1	150
Figura 5.53 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 2	150
Figura 5.54 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI	151
Figura 5.55 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI	151
Figura 5.56 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR	152
Figura 5.57 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR	152
Figura 5.58 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização	153
Figura 5.59 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização	153
Figura 5.60 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI	154
Figura 5.61 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI	155
Figura 5.62 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR	155
Figura 5.63 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR	155
Figura 5.64 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização	156
Figura 5.65 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização	156
Figura A.1 – Mapeamento entre Canais Lógicos e Canais de Transporte	167
Figura A.2 – Mapeamento entre Canais de Transporte e Canais Físicos	169
Figura A.3 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 isolada.....	170
Figura A.4 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 isolada	170
Figura A.5 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 isolada.....	171
Figura A.6 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 isolada	171
Figura A.7 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 na presença de ACI	171
Figura A.8 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 na presença de ACI	172
Figura A.9 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 na presença de ACI	172
Figura A.10 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 na presença de ACI	173
Figura A.11 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 isolada.....	173
Figura A.12 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 isolada	173
Figura A.13 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 isolada.....	174
Figura A.14 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 isolada	174
Figura A.15 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 na presença de ACI	174
Figura A.16 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 na presença de ACI	175

Figura A.17 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 na presença de ACI	175
Figura A.18 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 na presença de ACI	175
Figura A.19 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 isolada.....	176
Figura A.20 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 isolada	176
Figura A.21 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 isolada.....	176
Figura A.22 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 isolada	177
Figura A.23 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 na presença de ACI	177
Figura A.24 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 na presença de ACI	177
Figura A.25 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 na presença de ACI	178
Figura A.26 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 na presença de ACI	178

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Faixas de frequência utilizadas pelas operadoras no Brasil para implantação das redes 3G (Fonte: www.teleco.com.br).....	30
Tabela 1.2: Faixas de frequência autorizadas pela Anatel em 2100 MHz (Fonte: www.anatel.gov.br).....	31
Tabela 2.1: Principais diferenças entre a interface aérea do WCDMA e GSM.....	34
Tabela 2.2: Exemplo de cálculo de enlace.....	64
Tabela 2.3: Valores de K.....	65
Tabela 4.1: Valores de ACLR	93
Tabela 4.2: Requisitos de ACS para a estação rádio base	94
Tabela 4.3: Constantes A e B para o modelo Okumura-Hata	99
Tabela 5.1 - Parâmetros de entrada.....	117
Tabela 5.2 - Parâmetros definidos no software NPSW	117
Tabela 5.3 - Quantidade de usuários atendidos pela rede (serviço de voz)	119
Tabela 5.4 - Quantidade de usuários atendidos pela rede (serviços de voz e dados)	119
Tabela 5.5 - Ângulo ótimo de inclinação do feixe (serviço de voz).....	120
Tabela 5.6 - Ângulo ótimo de inclinação do feixe (serviço de voz e dados).....	120
Tabela 5.7 - Emprego do MHA (serviço de voz).....	121
Tabela 5.8 - Emprego do MHA (serviço de voz e dados).....	121
Tabela 5.9 - Panorama geral dos resultados numéricos (serviço de voz).....	122
Tabela 5.10 - Panorama geral dos resultados numéricos (serviço de voz e dados).....	123
Tabela 5.11 – Cobertura para 12,2 kb/s no cenário urbano denso em 2100 MHz.....	127
Tabela 5.12 – Cobertura para 144 kb/s no cenário urbano denso em 2100 MHz.....	134
Tabela 5.13 – Cobertura para 12,2 kb/s no cenário urbano denso em 850 MHz.....	139
Tabela 5.14 – Cobertura para 144 kb/s no cenário urbano denso em 850 MHz.....	142
Tabela 5.15 – Cobertura para 12,2 kb/s no cenário urbano em 2100 MHz	146
Tabela 5.16 – Cobertura para 144 kb/s no cenário urbano em 2100 MHz	149
Tabela 5.17 – Cobertura para 12,2 kb/s no cenário urbano em 850 MHz	153
Tabela 5.18 – Cobertura para 144 kb/s no cenário urbano em 850 MHz	157

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABREVIATURA	INGLÊS	PORTUGUÊS
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Parceria para Projeto de Sistema de Telefonia Móvel de Terceira Geração
AC	Admission Control	Controle de Admissão
ACI	Adjacent Channel Interference	Interferência do Canal Adjacente
ACIR	Adjacent Channel Interference Ratio	Relação de Interferência do Canal Adjacente
ACLR	Adjacent Channel Leakage Power Ratio	Relação de potência entre o Canal Principal e o Canal Adjacente
ACS	Adjacent Channel Selectivity	Seletividade do Canal Adjacente
AMPS	Advanced Mobile Phone System	Sistema de Telefonia Móvel Avançado
ANATEL	National Telecommunications Agency	Agência Nacional de Telecomunicações
ARQ	Automatic Repeat Request	Pedido de Repetição Automática
BER	Bit Error Rate	Taxa de Erro de Bit
BLER	Block Error Rate	Taxa de Erro de Bloco
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Modulação baseada no Chaveamento Binário de Fase
BSC	Base Station Controller	Controlador de Estação Rádio Base
CAPEX	Capital Expenditure	Despesas de Capital
CDG	CDMA Development Group	Grupo de Desenvolvimento para CDMA
CDMA	Code Division Multiple Access	Acesso Múltiplo por Divisão de Código
CM	Compressed Mode	Modo de Compressão
CN	Core Network	Núcleo da Rede
CRC	Cyclical Redundancy Checking	Controle Cíclico de Redundância
CS	Circuit Switched	Comutação por Circuito
DS	Direct Sequence	Sequência Direta
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	Aumento de Taxas de Dados para Evolução do GSM

ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Instituto Europeu de Padronização de Telecomunicações
EV-DO	Evolution – Data Only	Evolução Apenas de Dados
FDD	Frequency Division Duplex	Multiplexação por Divisão de Frequência
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência
FH	Frequency Hopping	Salto em Frequência
FM	Frequency Modulation	Modulação em Frequência
GGSN	Gateway GPRS Support Node	Ponto de Ligação do UMTS com Redes Externas Comutadas por Pacotes
GMSC	Gateway MSC	Ponto de Ligação do UMTS com Redes Externas Comutadas por Circuito
GPRS	General Packet Radio Services	Serviços Gerais de Pacotes
GPS	Global Positioning System	Sistema Global de Posicionamento
GSA	Global mobile Suppliers Association	Associação Global de fornecedores de Telefonia Móvel
GSM	Global System for Mobile Communications	Sistema Global para Comunicações Móveis
HC	Handover Control	Controle de Handover
HLR	Home Location Register	Registro de Localização do Usuário
HSCD	High Speed Circuit Switched Data	Dados comutados por Circuito de Alta Velocidade
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	Acesso de Dados de Alta Velocidade no Enlace de Descida
HSPA	High Speed Packet Access	Acesso de Dados de Alta Velocidade
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access	Acesso de Dados de Alta Velocidade no Enlace de Subida
IF-HO	Inter-Frequency Handover	Transferência entre Frequências
IMT-2000	International Mobile Telephony for year 2000	Telefonia Móvel Internacional para o Ano 2000
IP	Internet Protocol	Protocolo de Internet
ISDN	Integrated Services Digital Network	Rede Digital de Serviços Integrados

IS-HO	Inter-System Handover	Transferência entre Sistemas
LC	Load Control	Controle de Carga
LTE	Long Term Evolution	Sistema de Evolução de Longo Prazo
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service	Serviço de Multidifusão Multimídia
MCL	Minimum Coupling Loss	Perda Mínima de Acoplamento
MDC	Macro Diversity Combining Gain	Ganho de Combinação de Macro Diversidade
ME	Mobile Equipment	Equipamento Móvel
MHA	Mast Head Amplifier	Amplificador de Mastro
MRC	Maximum Ratio Combiner	Razão de Combinação Máxima
MSC	Mobile Services Switching Centre	Centro de Comutação de Serviços Móveis
NMT	Nordic Mobile Telephone	Telefonia Móvel Nórdica
NPSW	Static Radio Network Planning Tool for Wideband CDMA	Ferramenta Estática de Planejamento de Rede de Rádio CDMA de Banda Larga
NRT	Non Real Time	Em Tempo não Real
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing	Modulação baseada na Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	Acesso Múltiplo Ortogonal por Divisão de Frequência
OPEX	Operational Expenditure	Despesas Operacionais
OVSF	Orthogonal Variable Spread Factor	Fator de Espalhamento Ortogonal Variável
PS	Packet Switched	Comutação por Pacote
PS	Packet Scheduler	Gerenciador de Pacotes de Dados
PC	Power Control	Controle de Potência
PDC	Pacific Digital Cellular	Sistema Celular Digital para Região do Pacífico
PLMN	Public Land Mobile Network	Rede Móvel Terrestre Pública
PSTN	Public switched telephone network	Rede Pública de Telefonia Comutada
QoS	Quality of Service	Qualidade de Serviço
RAB	Radio Access Bearer	Transportador de Acesso Rádio
RAM	Radio Access Mode	Modo de Acesso Rádio

RAN	Radio Access Network	Rede de Acesso Rádio
RAT	Radio Access Technology	Tecnologia de Acesso Rádio
RF	Radio Frequency	Frequência de Rádio
RM	Resource Management	Gerenciador de Recursos
RNC	Radio Network Controller	Controlador de Rede de Rádio
RRC	Radio Resource Control	Controle de Recursos Rádio
RRM	Radio Resource Management	Gerenciamento de Recursos Rádio
RSCP	Received Signal Code Power	Potência do Código do Sinal Recebido
RT	Real Time	Em tempo Real
SGSN	Serving GPRS Support Node	Nó de Suporte de Serviço GPRS
SIR	Signal to Interference Ratio	Relação Sinal-Ruído
SMS	Short Message Service	Serviço de Mensagens Curtas
SS	Spread Spectrum	Espalhamento Espectral
TACS	Total Access Communications Systems	Sistemas de Comunicações de Acesso Total
TB	Transport Block	Bloco de Transporte
TDD	Time Division Duplex	Multiplexação por divisão de Tempo
TDMA	Time Division Multiple Access	Acesso múltiplo por Divisão de Tempo
TH	Time Hopping	Salto no Tempo
UIT	International Telecommunication Union	União Internacional de Telecomunicações
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Sistema Universal de Telecomunicações Móveis
URR	Utilization Radio Resources	Utilização de Recursos Rádio
UE	User Equipment	Equipamento do Usuário
USIM	UMTS Subscriber Identity Module	Módulo de Identificação do Usuário do sistema UMTS
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network	Rede Terrestre de Acesso Rádio UMTS
VLR	Visitor Location Register	Registro de Localização de Visitante
VOIP	Voice over IP	Voz sobre IP
WCDMA	Wide Code Division Multiple Access	Acesso Múltiplo por Divisão de Código em Banda Larga

RESUMO

A mudança no perfil dos usuários, na qual se observa uma demanda cada vez maior por novos serviços de dados, elevadas taxas de transmissão, *download* de vídeos, multimídia interativa e imagens de alta qualidade, fez com que as redes 3G tivessem um crescimento muito rápido em um período de tempo curto quando comparado às demais tecnologias de sistemas celulares.

Devido ao fato dos sistemas WCDMA serem limitados à interferência, considera-se importante e necessário um estudo para avaliar a influência deste parâmetro nesses sistemas.

Este trabalho apresenta um estudo da influência da interferência nos sistemas WCDMA onde são abordadas tanto a interferência interna quanto a interferência devido ao canal adjacente no caso de operadoras que oferecem o serviço 3G, utilizando sistemas WCDMA, na mesma área geográfica e utilizando portadoras adjacentes.

Inicialmente é apresentada uma descrição das características dos sistemas WCDMA, seguida de uma descrição detalhada dos mecanismos de gestão de recursos rádio que estão diretamente ligados à problemática da interferência no WCDMA. Posteriormente, são detalhados os mecanismos de interferência que podem afetar os sistemas WCDMA e a metodologia de simulação utilizada neste trabalho.

Com base nesse estudo foram realizadas diversas simulações com o *software* aberto NPSW para diferentes cenários e foram obtidos resultados em relação à influência da interferência interna e de canal adjacente, de forma que foi possível enumerar algumas recomendações de planejamento e otimização de redes WCDMA para evitar problemas de degradação de desempenho da rede devido a interferência.

Palavras-Chave

WCDMA, interferência

ABSTRACT

Due to modifications in the user profile, which shows an increasing demand for new data services, high transmission rates, video downloads, interactive multimedia and high-quality images, a very rapid growth in 3G networks has been observed when compared to other cellular systems technologies.

This dissertation deals with the performance of WCDMA systems in interference environments. Because WCDMA systems are limited to interference, a study for evaluating the influence of this parameter in network performance is important and necessary. This work presents a study covering both internal interference and the interference due to adjacent channel in the case of operators offering 3G services in the same geographical area.

Initially, the characteristics of WCDMA systems and the radio resources management mechanisms directly linked to the interference problem are introduced. Subsequently, comments on the interference mechanisms, including the mathematical formulation are presented. A detailed description of the simulation methodology concludes the necessary information for the application of the open software NPSW used in this work. Numerical results covering different scenarios are then evaluated and discussed.

Based on the analysis of these results, it was possible to list some planning and optimizing recommendations for WCDMA networks in order to avoid network performance degradation due to interference.

Keywords

WCDMA, interference

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicações têm passado por grandes avanços e evoluções tecnológicas nos últimos anos. Com a introdução do conceito celular, diversos padrões para comunicações foram colocados em prática desde o início da década de 80 e os sistemas móveis têm agregado uma fatia de mercado cada vez maior. Pode-se observar esse crescimento nas figuras 1.1 e 1.2.

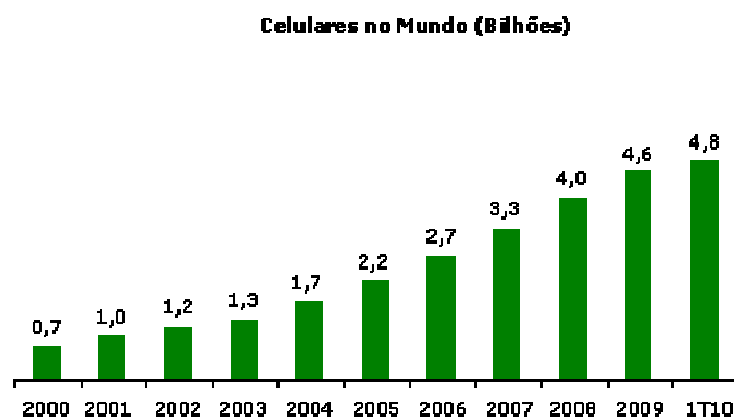


Figura 1.1: Número de celulares no mundo (Fonte: UIT, Wireless Intelligence e GSA)

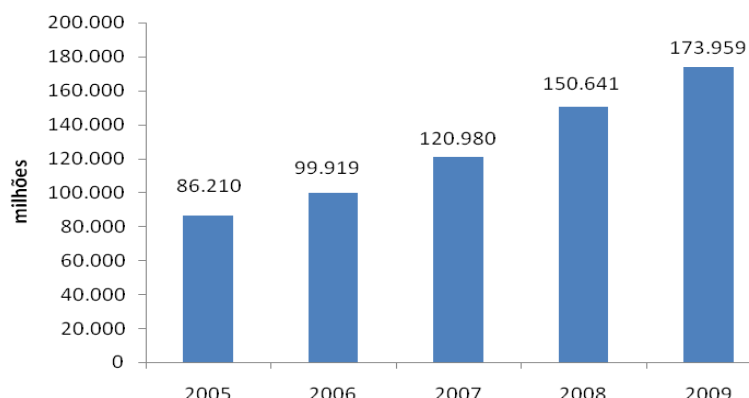


Figura 1.2: Número de celulares no Brasil (Fonte: www.teleco.com.br)

Geralmente utiliza-se a classificação por gerações para tornar mais fácil o entendimento da evolução das tecnologias, sendo feita de acordo com as principais características do padrão, como acesso múltiplo, serviços, modulação, capacidade e perfil dos usuários.

O AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), o TACS (*Total Access Communications Systems*), o PDC (*Pacific Digital Cellular*) e o NMT (*Nordic Mobile Telephone*) foram os principais padrões de primeira geração (1G). Esses padrões utilizavam tecnologia analógica, com modulação em frequência (FM) e acesso múltiplo FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Esses sistemas apresentavam baixa capacidade de transmissão de voz, pouca segurança da informação e alto consumo de bateria dos aparelhos. A 1G tornou-se tecnicamente obsoleta na década de 90. No Brasil, os últimos acessos de tecnologia analógica foram desativados no início de 2010.

A partir da difusão da tecnologia digital, surgiram os padrões da segunda geração (2G), baseados em técnicas de acesso múltiplo TDMA (*Time Division Multiple Access*) e CDMA (*Code Division Multiple Access*). Esses padrões permitiram maior capacidade de transmissão, mais facilidades em termos de *roaming* e sinalização (transmissão de sinais de controle) e também a introdução de serviços de dados como, por exemplo, o SMS (*Short Message Service*). Fazem parte da 2G os sistemas GSM (*Global System for Mobile Communications*) e os padrões IS-136 (TDMA) e IS-95 (CDMA).

Apesar de apresentar diversas vantagens em relação aos sistemas de 1G, a 2G ainda não era capaz de suportar serviços de dados em taxas elevadas e serviços básicos de internet. A evolução das redes 2G para 2,5G foi implementada permitindo a inclusão de serviços de dados por pacotes antes da conclusão definitiva das redes de terceira geração (3G) que já

estavam sendo desenvolvidas. Os principais sistemas dedicados a dados dessa geração intermediária são o GPRS (*General Packet Radio Services*), HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) e o EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) para acessos TDMA e o cdma2000 1x EV-DO (*Evolution – Data Only*) para acesso CDMA.

Os sistemas 2,5G ainda têm considerável participação e influência na indústria, além de uma grande quantidade de terminais em operação. A migração para sistemas 3G, com suporte a crescente demanda de tráfego, novos serviços de dados, elevadas taxas de transmissão, *download* de vídeos, multimídia interativa e imagens de alta qualidade já ocorreu em diversos países. A UIT (União Internacional de Telecomunicações) iniciou o desenvolvimento do padrão IMT-2000 (*International Mobile Telephony for year 2000*) em 1985. Esse padrão é chamado pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) de UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) e teve seu desenvolvimento iniciado na Europa em 1990. O objetivo era desenvolver um padrão global de interface de rádio e harmonização espectral para todos os países e que oferecesse:

- Transmissão em conexões de comutação de circuitos e de pacotes, com capacidade de trafegar informações baseadas no IP (*Internet Protocol*);
- Flexibilidade de introdução de novos serviços e capacidade de realização de *roaming* global;
- *Handover* entre sistemas com garantia de coexistência entre sistemas de 2G, 2.5G e 3G e entre os modos TDD (*Time Division Duplex*) e FDD (*Frequency Division Duplex*);
- Maior eficiência espectral e utilização de uma só conexão para serviços com diferentes limiares de qualidade;
- Oferecimento de faixa sob demanda e suporte ao tráfego assimétrico de informação nos enlaces de subida e descida;
- Suporte a diversos perfis de usuários: alta mobilidade – usuários em veículos (taxas de até 144 kbps), usuários de mobilidade média – pedestres (até 384 kbps) e ambientes fechados (taxa máxima de 2 Mbps) com usuários de baixa mobilidade.

Devido ao conflito de interesses entre fabricantes e a problemas técnicos e políticos, a idéia de padrão global não se tornou viável na 3G. Alguns padrões de 3G foram lançados, como por exemplo, a evolução do EDGE UWC-136HS (*Universal Wireless Communications-*

136 High Speed) e o cdma2000 3x, mas o WCDMA (*Wide Code Division Multiple Access*) tem tido maior aceitação de mercado e foi adotado na Europa e no Brasil como padrão da interface aérea do UMTS.

Após o WCDMA descrito no Release 99 (3GPP TS 21.101 v3.0.1, 2000), surgiram evoluções desse padrão que permitem maiores taxas. O HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) (3GPP TS 21.101 v5.4.0, 2003) é um serviço de pacotes de dados, baseado no WCDMA, que aperfeiçoa a transmissão de dados na direção do telefone celular (enlace de descida). Existem várias versões de HSDPA com velocidades de pico de 1,2 Mbit/s, 1,8 Mbit/s, 3,6 Mbit/s, 7,2 Mbit/s, 10,2 mbit/s e 14,4 Mbit/s. Surgiu também o HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*) (3GPP TS 21.101 v6.0.0, 2004) que faz o mesmo para o enlace de subida aumentando a taxa de transmissão até 5,8 Mbit/s. Além disso, ainda foi proposta a evolução conjunta das taxas de transmissão tanto no enlace de descida quanto no enlace de subida para 40 Mbit/s e 10 Mbit/s, respectivamente, no HSPA (*High Speed Packet Access*) (3GPP TS 21.101 v7.0.0, 2007 e 3GPP TS 21.101 v8.0.0, 2009), em que será possível utilizar os canais do HSDPA e HSUPA para VOIP (*Voice over IP*). A figura 1.3 mostra a evolução acima descrita.

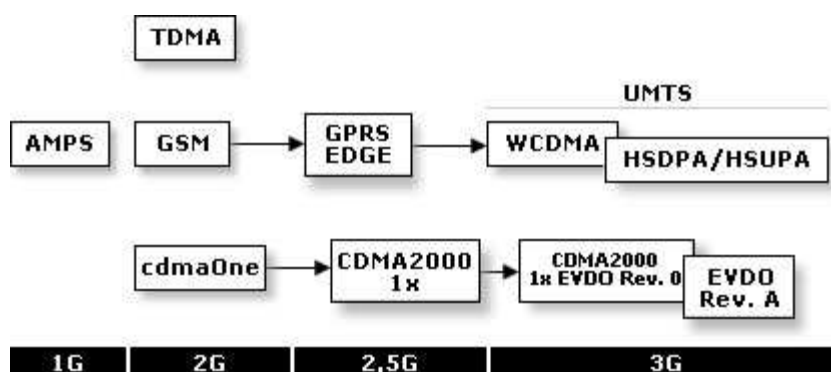


Figura 1.3: Evolução das tecnologias de Sistemas Celulares

O passo seguinte ao HSPA previsto pelo 3GPP é um projeto chamado de LTE (*Long Term Evolution*) baseado em OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) e que tem por objetivo taxas de dados de 100 Mbit/s no enlace de descida com uma largura de faixa de canal de 20 MHz (3GPP TR 36.913 v9.0.0, 2009).

1.1 MOTIVAÇÃO

A mudança no perfil dos usuários, na qual se observa uma demanda cada vez maior por novos serviços de dados, elevadas taxas de transmissão, *download* de vídeos, multimídia interativa e imagens de alta qualidade, fez com as redes 3G tivessem um crescimento muito rápido em um período de tempo muito curto se comparado às demais tecnologias de sistemas celulares. O UMTS Forum divulgou em Jan/10 que existiam mais de 500 milhões de celulares 3G (WCDMA) no mundo. A telefonia fixa levou um século para atingir esta marca, o GSM uma década e o 3G/UMTS em 8 anos. A figura 1.4 retrata esse crescimento de celulares 3G no mundo (www.teleco.com.br).

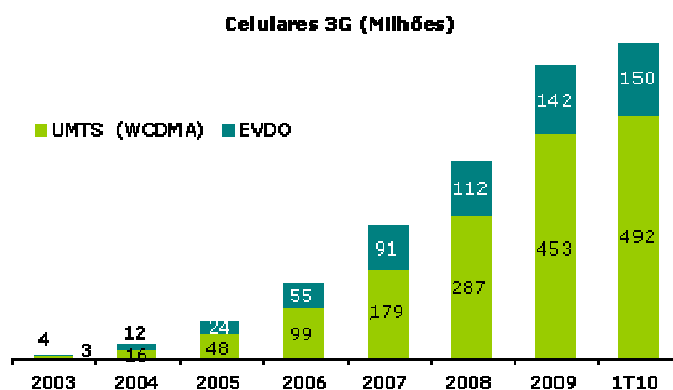


Figura 1.4: Número de celulares 3G no mundo (Fonte: GSM Assoc, GSA e CDG)

A 1ª rede WCDMA a entrar em operação comercial foi a da NTT DoCoMo (Japão) em 2001. Em seguida (2002) veio a da Softbank (antiga Vodafone) também no Japão. A partir de 2003 entraram em operação as primeiras redes WCDMA da Europa. Nos Estados Unidos a 1ª a entrar em operação foi a AT&T (antiga Cingular) em 2004 (www.teleco.com.br). A figura 1.5 mostra o número de redes 3G no mundo até 2009.

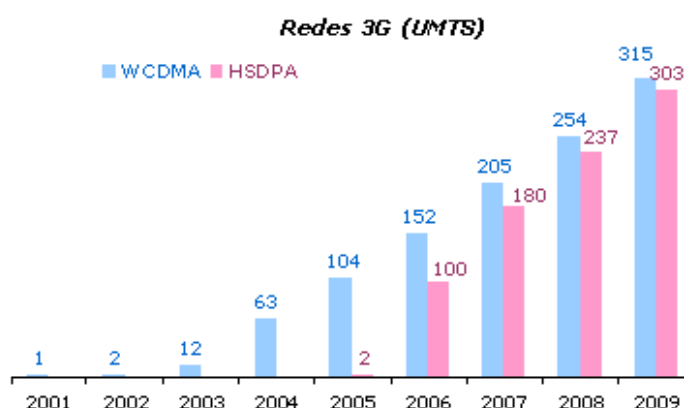


Figura 1.5: Número de redes 3G no mundo

No Brasil as primeiras redes WCDMA entraram em operação comercial em Novembro de 2007 com as operadoras Vivo e Claro. Na figura 1.6 observa-se o rápido crescimento do número de celulares 3G no Brasil.

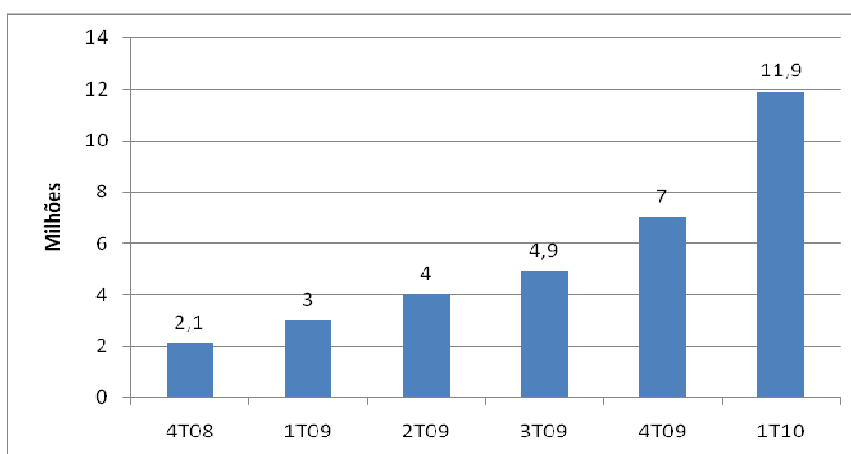


Figura 1.6: Número de celulares 3G no Brasil (Fonte: www.teleco.com.br e Anatel)

Os novos serviços multimídia e a demanda por maior capacidade requerem maior largura de faixa para o usuário. As diferenças na interface aérea refletem os novos requisitos dos sistemas de terceira geração. Uma largura de faixa de 5 MHz é necessária para suportar taxas maiores, a diversidade de transmissão é incluída para melhorar a capacidade no enlace de descida de forma a suportar requisitos de capacidade assimétrica entre enlace de descida e enlace de subida. A combinação de diferentes taxas, serviços e requisitos de qualidade necessitam de um algoritmo de gerenciamento avançado de recursos rádio para garantir qualidade de serviço e maximizar a capacidade de taxa de transferência do sistema.

O WCDMA é uma das tecnologias-chave para a implementação dos sistemas 3G. Na interface WCDMA, usuários diferentes podem transmitir simultaneamente com diferentes

taxas de dados que podem variar no tempo.

A célula de uma rede de rádio celular pode ser vista como um sistema de comunicações multiusuário em que um grande número de usuários compartilha um recurso físico comum para transmitir e receber informações. O recurso da célula é uma faixa de frequências do espectro radioelétrico. Existem diversas técnicas de acesso diferentes em que vários usuários podem enviar informação através do canal comum para o receptor. Os usuários podem subdividir o espectro disponível em um número N de sub-canais não superpostos. Este método é chamado FDMA. Outro método para criar vários sub-canais é dividir a duração de um período de tempo T em um número de sub-intervalos que não se sobreponham, ou seja, cada um de duração $T_0 = T/N$. Este método é chamado de TDMA.

No FDMA e TDMA o canal comum é dividido em sub-canais individuais por usuário. Um problema surge se os dados dos usuários que acessam a rede forem tráfego em rajada. Um único usuário que tenha reservado um canal pode transmitir dados de forma irregular. Então, os períodos de silêncio podem ser maiores do que os períodos de transmissão. Por exemplo, um sinal de voz pode conter pausas longas. Nesses casos, TDMA ou FDMA tendem a ser ineficientes porque uma determinada parcela da frequência - ou das janelas de tempo (*timeslots*) - alocada ao usuário não transporta nenhuma informação. Um sistema de acesso múltiplo concebido de forma ineficiente limita o número de usuários simultâneos do canal de comunicações comum. Uma das formas de superar esse problema é permitir que mais de um usuário compartilhe o canal ou sub-canal pelo uso de sinais de espectro espalhado. Neste método, a cada usuário é atribuída uma sequência de código exclusivo ou sequência de assinatura que possibilite um espalhamento dos sinais do usuário no canal comum. Após a recepção, os sinais dos vários usuários são separados por correlação cruzada de cada sinal recebido de cada uma das sequências de assinatura do usuário. Este método de acesso múltiplo é chamado de CDMA.

Uma vez que os sistemas 3G, especialmente sistemas WCDMA, são muito sensíveis à interferência, é de máximo interesse controlar este efeito. Por isso, meios de controlar a interferência devem ser adotados nas fases de planejamento e otimização. A configuração e localização das estações rádio base e parâmetros das antenas como altura, elevação e direção do lóbulo principal são escolhas importantes a serem realizadas, as quais podem trazer benefícios na otimização do sistema.

Os novos serviços oferecidos pelos sistemas 3G requerem maior faixa e, em

contrapartida, provocam uma diminuição da tolerância à interferência causada por sistemas operando em faixas adjacentes. Isso é devido a uma estrutura mais exigente para faixa larga, a componentes lineares e aos receptores para faixa larga que estão mais expostos a várias fontes de interferência. Além disso, quando mais de uma operadora WCDMA atuam na mesma área existe a possibilidade de interferência em faixas adjacentes (*ACI - Adjacent Channel Interference*).

É impossível considerar qualquer parte de um sistema WCDMA de forma isolada. Alterações em uma parte do sistema podem provocar mudanças em uma grande área. Por exemplo, nos sistemas GSM a capacidade final é limitada pelo número de elementos do canal e o bloqueio ocorre quando todas as frequências e janelas de tempo são totalmente ocupadas. Sistemas WCDMA diferem fundamentalmente do GSM pelo fato de que o mesmo espectro é compartilhado entre todos os usuários. No WCDMA os limites de capacidade podem ser alcançados antes que todos os elementos do canal em todas as células estejam em uso. O limite é atingido quando o QoS (*Quality of Service*) da rede degrada a um nível mínimo aceitável, que depende dos níveis de interferência no sistema.

No WCDMA, a capacidade e a cobertura podem ser limitadas pela interferência do enlace de subida e enlace de descida. No enlace de subida a interferência vem de outras estações móveis, e no enlace de descida de outras estações rádio base adjacentes. Embora o número de fontes de interferência no enlace de descida seja baixo, a potência interferente é relativamente alta. Como o nível de interferência experimentado por um móvel depende da atenuação devido à propagação em relação a todas as estações rádio base, os usuários sofrem interferência de diferentes fontes dependendo de sua localização na rede. Os níveis de interferência no enlace de descida podem ser elevados mesmo que a carga da célula seja baixa, porque a estação rádio base tem de transmitir os canais comuns no enlace de descida. No enlace de descida, a potência total de transmissão é compartilhada entre os usuários. No enlace de subida, existe um nível máximo tolerável de interferência no receptor da estação rádio base. Cada usuário contribui para o nível de interferência que é compartilhado entre os usuários na célula. Se o desempenho de alguns enlaces pode ser melhorado, os níveis de energia necessários em ambos os enlaces de subida e enlace de descida são reduzidos e, conseqüentemente, a interferência gerada também é imediatamente reduzida. A funcionalidade de compartilhamento dos recursos de potência resulta em níveis de interferência reduzidos para todos os usuários, que pode ser utilizado ainda como recurso para

aumento da capacidade e cobertura ou melhoria de qualidade do enlace.

A qualidade da rede é uma combinação de disponibilidade de serviço e qualidade experimentada pelos usuários. Todas essas exigências devem ser cumpridas por um preço razoável. O custo desempenha um papel muito importante em uma rede operacional e os custos do usuário final devem ser incluídos em qualquer avaliação de qualidade global. Por isso, torna-se necessário que na fase de planejamento exista a preocupação com a interferência e que também seja feito um trabalho de otimização constante do sistema, visto que este é um fator limitante no WCDMA. O objetivo é alcançar uma implementação com uma relação custo-benefício que proporcione a qualidade de serviço esperada pelo usuário final.

1.2 OBJETIVOS

Devido ao fato dos sistemas WCDMA serem limitados por interferência, é importante e necessário um estudo para avaliar este efeito. Durante a fase de implantação das redes, o foco do planejamento das operadoras é expandir sua área de cobertura com o objetivo de atrair o maior número de usuários possíveis e garantir uma capacidade e nível de qualidade mínima para esses usuários conforme normas regulamentares vigentes. Quando as redes estão maduras, ou seja, com várias operadoras com diversas estações rádio base implantadas proporcionando uma extensa área de cobertura e um número elevado de usuários, torna-se imprescindível fazer ajustes na configuração dos sistemas de forma que seja possível oferecer níveis de cobertura, capacidade e qualidade exigidos pelos clientes.

A interferência no WCDMA, parâmetro que está diretamente ligado ao número de estações rádio base e de usuários do sistema, é um fator crucial quando as redes estão em uma fase de implantação avançada. O presente trabalho propõe verificar o impacto da interferência de canal adjacente na cobertura e capacidade do sistema para os diversos cenários de implementação e seleção de parâmetros. A proposta é realizar estudos para os cenários operando em 850 MHz e 2100 MHz, que foram as frequências autorizadas para a faixa de 2100 MHz no Brasil para implantação do 3G conforme se observa na figura 1.7 e na tabela 1.1.

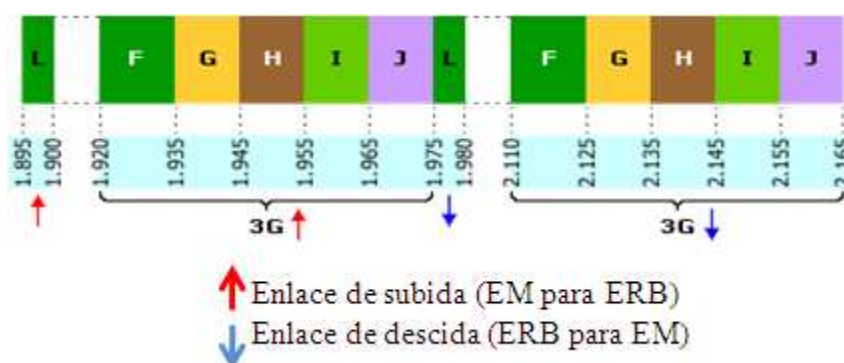


Figura 1.7: Faixas de frequências autorizadas no Brasil para implantação das redes 3G (Fonte: www.anatel.gov.br).

Operadoras	Entrada operação	Frequências
Vivo (Telemig)	Nov/07	850 MHz e 1900/2100 MHz
Claro	Nov/07	850 MHz e 1900/2100 MHz
CTBC	Abr/08	1900/2100 MHz
Tim	Abr/08	1900/2100 MHz
Brasil Telecom	Abr/08	1900/2100 MHz
Oi	Mai/08	1900/2100 MHz
Vivo	Set/08	1900/2100 MHz
Sercomtel	Dez/08	850 MHz

Tabela 1.1: Faixas de frequência utilizadas pelas operadoras no Brasil para implantação das redes 3G (Fonte: www.teleco.com.br)

A tabela 1.2 apresenta as subfaixas em 1.900 MHz e 2.100 MHz destinadas pela Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) para a implantação das redes 3G.

Sub-faixa (MHz)	Largura de Banda (MHz)	Transmissão da	
		Estação Móvel	ERB
F	15+15	1920-1935	2.110-2.125
G	10+10	1.935-1.945	2.125-2.135
H	10+10	1.945-1.955	2.135-2.145
I	10+10	1.955-1.965	2.145-2.155
J	10+10	1.965-1.975	2.155-2.165
Sub-faixa de Extensão	5	1.885-1.890	
	5	1.890-1.895	

Tabela 1.2: Faixas de frequência autorizadas pela Anatel em 2100 MHz (Fonte: www.anatel.gov.br)

A faixa H foi reservada pela Anatel para a entrada de novas operadoras ou de empresas menores. Outra possibilidade é esta faixa ser adquirida no futuro por empresas que operam nas faixas G ou I. A faixa de 800 MHz também está sendo utilizada para implantar sistemas 3G no padrão UMTS por operadoras de celular autorizadas para atuar nas bandas A e B.

Nesse estudo foram consideradas também as diversas variações com relação à direção de transmissão (enlaces de subida e de descida), ambientes (urbano denso e urbano), implantação das células (macro, micro, pico) e tipo e taxa de serviço. Para realização dessas simulações foi utilizado o NPSW, que é um simulador estático implementado em MATLAB, para planejamento de redes WCDMA (Wacker et al, 2001). Esse simulador foi desenvolvido por pesquisadores da Nokia, no início das implantações das redes 3G, com o objetivo de obter um protótipo para ferramentas de planejamento e otimização de redes WCDMA.

Através dos resultados obtidos com as simulações foram apresentadas inúmeras conclusões para o planejamento e otimização do sistema de forma a evitar problemas com a ACI e possibilitar um nível de interferência no qual o desempenho do sistema WCDMA não sofra uma degradação significativa.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Após esta Introdução, o Capítulo 2 introduz as características básicas do sistema

WCDMA no que diz respeito aos serviços oferecidos, requisitos de rede, modulação utilizada, arquitetura de rede, planejamento e parâmetros de desempenho. O Capítulo 3 é dedicado a uma descrição detalhada dos mecanismos de gestão de recursos de rádio que estão diretamente ligados à problemática da interferência no WCDMA, dando ênfase particular aos controles de potência e de *handover*. O capítulo 4 comenta os mecanismos de interferência que podem afetar o sistema WCDMA e a metodologia de simulação utilizada neste trabalho. Tendo por referência a simulação de redes 3G em diversos cenários operacionais, o Capítulo 5 apresenta e interpreta os resultados numéricos obtidos com o software NPSW. O Capítulo 6 relaciona as conclusões desta Dissertação e indica algumas linhas de ação para dar continuidade ao trabalho aqui iniciado. As referências utilizadas na elaboração da Dissertação e dois Anexos, um sobre os diferentes tipos de canal utilizados no sistema WCDMA e outro onde consta a representação gráfica da estimativa de cobertura na presença de ACI para os diversos cenários simulados, finalizam este texto.

Concluindo esta Introdução, é importante ressaltar que o desenvolvimento deste trabalho teve em mente apresentar resultados relevantes para o planejamento e otimização de redes 3G. Espera-se que este material possa servir de subsídio para as operadoras no Brasil que ainda estão em fase de implantação de suas redes.

2 SISTEMA WCDMA

Este Capítulo apresenta as características básicas do sistema WCDMA. Inicialmente, são relacionadas inúmeras considerações gerais relativas ao planejamento de sistemas 3G. Sempre que pertinente é feita menção à existência de aspectos que possam ser associados aos sistemas 2G. A seguir, é introduzido o conceito de espalhamento do espectro que constitui a base do sistema WCDMA. Após uma descrição sucinta da arquitetura de redes WCDMA, passa-se a um detalhado estudo do planejamento de tais redes. Conforme será visto posteriormente, esta parte final do Capítulo é fundamental no contexto desta dissertação, uma vez que o resultado do planejamento afeta de modo significativo a análise de interferência.

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As redes celulares de terceira geração, diferentemente dos sistemas de segunda geração que foram projetados principalmente para oferecer serviços de voz, têm novas exigências devido à nova demanda de serviços dos usuários. Entre outras, podem ser citadas:

- Taxas de bit de até 2 Mbps;
- Taxa de bit variável para oferecer faixa sob demanda;
- Multiplexação de serviços com diferentes requisitos de qualidade em uma única ligação, por exemplo, voz, vídeo e pacotes de dados;
- Requisitos de atraso sensíveis ao tráfego em tempo real;
- Requisitos de qualidade de 10% de erro de quadro e taxa de erro de bit de 10^{-6} ;

- Coexistência de sistemas de segunda e terceira gerações e transferência entre sistemas para melhoria de cobertura e balanceamento de carga;
- Suportar tráfego assimétrico no enlace de subida e enlace de descida. Por exemplo, a navegação na internet gera mais carga no enlace de descida que no enlace de subida;
- Maior eficiência de espectro;
- Co-existência de modos FDD e TDD.

As diferenças na interface aérea refletem essas novas exigências da terceira geração. Uma largura de faixa de 5 MHz é necessária para suportar taxas mais elevadas, algoritmos avançados de gestão dos recursos rádio para garantir a qualidade do serviço e maximizar a taxa de transferência do sistema. Esta largura de faixa maior também suporta diversidade de transmissão. Nesse caso, utiliza-se antenas múltiplas, ou seja, a comunicação usa sinais originados de duas ou mais fontes independentes. Isso proporciona diversidade contra o desvanecimento (*fading*) do canal de rádio e permite o ajuste de amplitude e fase da transmissão, com base nas condições instantâneas do canal no enlace de descida. A tabela 2.1 mostra as principais diferenças entre a interface aérea dos sistemas GSM e WCDMA.

	WCDMA	GSM
Banda da portadora	5 MHz	200 kHz
Fator de reuso de frequência	1	1-18
Frequência do controle de potência	1500 Hz	2 Hz ou menor
Controle de qualidade	Algoritmo de gerenciamento de recursos rádio	Planejamento de frequência
Diversidade de frequência	A banda de 5 MHz possibilita diversidade multipercurso com receptor Rake	Salto de frequência
Pacote de dados	Gerenciador de pacotes baseado na carga da célula	Gerenciamento baseado em time slot no GPRS
Diversidade de transmissão no downlink	Para melhorar capacidade no enlace de descida	Não suportado pelo padrão

Tabela 2.1: Principais diferenças entre a interface aérea do WCDMA e GSM

Os sistemas de terceira geração possibilitam inúmeros serviços:

- Serviços pessoa a pessoa com comutação de circuitos (*Person-to-Person Circuit Switched Services*);

- Vídeo Telefonia: tem requisitos de atraso semelhante aos serviços de voz, porém, devido à natureza da compressão de vídeo, a taxa de erro de bit (*Bit Error Rate – BER*) exigida é mais rígida;
- Serviços pessoa a pessoa com comutação de pacotes (*Person-to-Person Packet Switched Services*): multimídia, *push-to-talk over celular* (PoC), VOIP;
- Navegação na internet, fluxo de dados de áudio e vídeo, *download* de conteúdo, serviço de multidifusão multimídia (*Multimedia Broadcast Multicast Service – MBMS*);
- Conectividade de negócios (*business connectivity*);
- Diferenciação de qualidade de serviço;
- Serviço de localização.

A rede de acesso 3G pode ser caracterizada por diversos atributos dentre os quais:

- Interface de rádio altamente sofisticada, visando uma grande flexibilidade no transporte e na multiplexação dos serviços de voz e, em particular, dos serviços de dados com taxas constantes e, taxas variáveis de baixa e alta velocidade;
- Suporte eficiente para o transporte de tráfego em IP;
- Projeto de cobertura e serviços para múltiplos tipos de serviços com diferentes taxas e requisitos de qualidade de serviço. Devido às grandes diferenças em relação ao projeto de cobertura e capacidade de redes que só oferecem serviços de voz, uma rede 3G não pode ser facilmente implementada com baixos custos para serviços de altas taxas. Conseqüentemente, as exigências de tráfego e qualidade de serviço devem ser distintas para diferentes tipos de serviços;
- Um grande conjunto de recursos e uma camada rádio bem projetada garantem alta eficiência espectral em uma ampla gama de ambientes operacionais: ambientes externos e internos, ambientes implementados com macro, micro ou pico-células. Exemplos dessas características são os diferentes tipos de codificação e esquemas de adaptação de transferência do enlace rádio, suporte a conceitos avançados de melhoria de desempenho de antenas, tais como a diversidade de transmissão nas estações rádio base para o enlace de descida e de habilitação dos sistemas de cancelamento de interferência;

- Mecanismos eficientes de controle de interferência e robustez para permitir o funcionamento em um ambiente fortemente limitado por interferência a fim de apoiar sistemas de reutilização de frequência com o objetivo de atingir alta eficiência espectral. Isso exigirá dominância e esforço para manter o máximo isolamento entre as células através da escolha adequada da localização das estações rádio base, inclinação e orientação das antenas entre outros. Um esquema de reutilização de frequências limitado, em conjunto com a operação limitada à interferência, por outro lado, significa que o efeito de “respiração celular” irá necessariamente ocorrer. Esse fenômeno é uma constante mudança no tamanho da área geográfica coberta por uma estação rádio base baseado na quantidade de tráfego demandada nessa estação. No momento em que a célula apresenta uma alta carga a cobertura diminui, pois para suportar o tráfego requerido deve cobrir uma área menor. Então o tráfego de alguns usuários é redirecionado para uma célula vizinha que apresenta uma carga menor possibilitando um balanceamento de carga e, quando a carga diminui, a estação rádio base volta a atender a área coberta inicialmente;
- Uso extensivo da característica de "melhor esforço" para capacidade de dados em pacotes. Se, temporariamente, não estiver sendo utilizada a capacidade de recursos rádio será disponibilizada para as conexões de dados em pacotes de forma flexível e justa, de modo a melhorar a qualidade de serviço comumente percebida. Isso vai resultar em redes que operam com uma maior carga espectral em comparação com as redes de hoje em que predominam os serviços de voz. Essa maior carga sobre o espectro de rádiofrequência (RF - *Radio Frequency*) irá resultar em maiores níveis de interferência, exigindo cada vez mais um melhor planejamento de RF para atingir alto rendimento. Esta tendência é amplificada pelos custos significativos de autorizações de espectro que algumas prestadoras de serviços pagam para poder prestar os seus serviços 3G;
- Serviços de pacotes IP, que geram possibilidade de “demanda ilimitada” de capacidade de rádio, em conjunto com uma rede baseada em alocação de pacotes de dados por melhor esforço e as fortes limitações por interferência induzem uma carga mais elevada de trabalho de otimização nas fases pré e pós-implantação das células para atingir metas satisfatórias de taxa de transferência e qualidade de serviço. Como consequência, o esforço e o custo da fase de otimização da rede de rádio para serviços 3G serão superiores ao das redes 2,5G de hoje, em que a carga primária é a frequência inicial de planejamento. Além disso, a prática corrente de usar um amplo espectro para contornar problemas de

interferência através do planejamento de frequências adequado não será mais viável. Isto porque, os serviços de alto rendimento dependem de elevada eficiência espectral e reutilização do espectro disponível;

- A fim de proporcionar alta qualidade da interface rádio, as redes 3G devem oferecer meios eficientes para seu funcionamento em multi-camadas, suportando camadas de micro e pico-células, por exemplo, e as maneiras de se mover de forma eficiente o tráfego entre essas camadas conforme o caso. Isso exigirá mecanismos eficientes de transferência entre camadas, juntamente com um dimensionamento e planejamento de RF adequado das camadas de células;
- Suporta dois modos básicos de funcionamento: FDD e TDD. No modo FDD, são utilizadas portadoras separadas de 5 MHz para o enlace de subida e enlace de descida. No modo TDD apenas uma portadora de 5 MHz é dividida no tempo entre os enlaces de subida e de descida;
- Suporta a operação assíncrona das estações rádio base, de modo que, ao contrário do sistema síncrono IS-95, não há necessidade de uma referência mundial, como o sistema de posicionamento global (GPS - *Global Positioning system*). Implantações internas (*indoor*) e micro estações são mais fáceis quando nenhum sinal GPS deve ser recebido;
- Emprega detecção coerente nos enlaces de subida e de descida e baseia-se na utilização de símbolo piloto. Esse símbolo piloto serve como referência de demodulação para os receptores móveis e para medidas de nível de *handover* e, por isso, está presente em todas as estações. A utilização deste tipo de detecção coerente no enlace de subida é nova para o público CDMA e resultará em um aumento de cobertura e capacidade no enlace de subida;
- A interface aérea foi elaborada com significativo avanço nos conceitos de recepção do CDMA, tais como detecção multiusuário e antenas adaptativas inteligentes, que podem ser utilizados pela operadora, como uma opção para aumentar a capacidade e/ou cobertura;
- Projetado para operar em conjunto com o GSM. Portanto, há suporte para *handover* entre GSM e WCDMA. Este procedimento possibilita alavancar a cobertura do GSM para a introdução do WCDMA.

A introdução e a implantação de redes 3G têm alto custo e acontecem dentro de um ambiente muito competitivo com redes 2,5G consolidadas (por exemplo, GSM,

EDGE/GPRS), guiando as expectativas dos usuários finais quanto à disponibilidade e qualidade do serviço. Portanto, as prestadoras de serviço devem utilizar suas redes GSM existentes na medida do possível. A maneira mais óbvia de fazer isso é usar a cobertura do GSM como uma extensão da cobertura 3G, oferecendo serviços 3G inicialmente apenas em ambientes tipicamente urbanos, áreas onde a transferência entre sistemas seja confiável, para dar continuidade à cobertura para serviços básicos. Em contrapartida, a cobertura de regiões centrais de cidades de pequeno/médio porte pode ser uma vantagem competitiva para as prestadoras de serviço 3G, já que muitas dessas cidades encontram-se desatendidas por serviço de banda larga, mesmo a cabeada. Desta forma, será importante para as prestadoras de serviços 3G, implementar o *handover* entre células 3G e GSM, a fim de acelerar a implantação da rede 3G e minimizar os custos iniciais de implantação. Isso exigirá procedimentos que permitam um planejamento conjunto de cobertura e capacidade das redes 3G, 2,5G e 2G, ou seja, algum grau de integração das ferramentas e práticas utilizadas.

Outro aspecto muito importante é a possibilidade de co-localização das estações 3G com estações 2,5G/2G existentes, reduzindo os custos e despesas gerais durante aquisição e manutenção da estação. No entanto, a co-localização levanta uma série de questões que devem ser consideradas pelo responsável pelo planejamento da rede de rádio. Deve-se verificar nas soluções de compartilhamento de antenas a serem usadas, se a qualidade de RF subjacente da rede 2G satisfaz padrões aceitáveis para os objetivos de qualidade do 3G, ou se deve existir uma fase prévia para a otimização de estações 2,5G/2G. Poderão existir limitações sobre a reutilização de estação, como espaço físico. Há também um grande potencial de problemas relacionados com interferências. Novamente, será requerida uma abordagem integrada, reconhecendo a operação de 3G em conjunto com 2,5G/2G sob uma perspectiva multi-rádio com o objetivo de alcançar uma boa relação custo/desempenho para os dois sistemas em funcionamento simultâneo. Qualquer método de acesso rádio genérico (TDMA, FDMA, CDMA, OFDM, etc), concebido para a operação com alta eficiência espectral e para satisfazer as exigências de serviço 3G, teria de enfrentar as questões mencionadas. Isto sugere que a maioria dos desafios enfrentados pelos responsáveis pelo planejamento da rede, está, em verdade, na migração para a 3G no que tange a lidar com os novos requisitos demandados pelos usuários. Obviamente, há muitas diferenças entre WCDMA e GSM nos parâmetros de rede de rádio. No entanto, algumas são fundamentais:

- Planejamento de sobrecarga de *soft (er) handover*. *Soft handover* é uma característica específica dos sistemas CDMA. No entanto, uma análise mais detalhada revela que o custo para minimizar sobrecarga de *soft handover* está intimamente correlacionado com o estabelecimento da célula dominante adequada. Assim, o planejamento para uma baixa sobrecarga de *soft handover* não requer novas habilidades e ferramentas, mas sim práticas adequadas de planejamento de rede de rádio conhecida dos sistemas atuais;
- Célula dominante e isolamento. Estes conceitos se tornaram relativamente mais importantes nas redes WCDMA que nas redes 2,5G/2G, devido à reutilização de frequência no WCDMA ser igual a 1 e ao acoplamento resultante de interferência mútua entre as células próximas;
- Vulnerabilidade à interferência externa. Por exemplo, a interferência causada por portadoras adjacentes utilizadas em outros sistemas ou a interferência entre diferentes camadas de células do próprio WCDMA. Novamente, esta questão não é tão específica do WCDMA, mas a sua importância é muito maior: com uma largura de faixa de 5MHz, uma portadora WCDMA pode consumir até 25 a 50% do espectro disponível da operadora. Qualquer interferência residual em uma portadora WCDMA terá um impacto muito mais dramático na qualidade do serviço do que para os atuais sistemas de faixa estreita 2G.

As operadoras esperam, naturalmente, maximizar o retorno econômico de seu investimento na infra-estrutura de rede, ou seja, de despesas de capital (CAPEX). Podem ser observados dois aspectos importantes para o desempenho da rede - planejamento e otimização. A otimização da rede é muito mais fácil e muito mais eficiente se a rede for bem planejada inicialmente.

A otimização é um processo contínuo que faz parte dos custos operacionais da rede, ou seja, das despesas operacionais (OPEX). No entanto, o conceito de auto-ajuste (*autotuning*) oferece novas oportunidades para a realização do processo de otimização de forma rápida e eficiente, a fim de maximizar as receitas da rede. As operadoras enfrentam os seguintes desafios no planejamento de redes 3G:

- Planejamento não significa apenas cumprir as normas e exigências atuais, mas também estar de acordo com as exigências futuras, no sentido de um caminho de desenvolvimento aceitável;

- Há muita incerteza sobre o crescimento futuro do tráfego e as proporções esperadas de diferentes tipos de tráfego e diferentes taxas de dados;
- Novos serviços e altas taxa de bits exigidas requerem conhecimento de métodos avançados de planejamento de cobertura e capacidade e soluções avançadas de configuração das estações.

O planejamento da rede enfrenta dificuldades reais. Operadoras com redes existentes podem co-localizar estações por razões econômicas, técnicas ou de planejamento. Em geral, todos os sistemas 3G mostram certa relação entre a capacidade e a cobertura, de modo que o processo de planejamento da rede em si depende não apenas da propagação, mas também da carga do sistema. Assim, o planejamento da rede é sensível aos requisitos de capacidade, o que torna o processo menos simples.

Idealmente, as estações devem ser selecionadas com base na análise da rede com a carga do tráfego previsto e o portfólio de serviços. Isto requer uma análise com as ferramentas de planejamento e retorno sobre o funcionamento da rede. As operadoras de redes 3G devem abandonar a filosofia “primeiro cobertura, depois capacidade” que é usualmente empregada no planejamento das redes 2,5G/2G. Além disso, devido ao potencial de interferência mútua, as estações precisam ser selecionadas em grupos. Este fato deve ser considerado no planejamento e otimização.

2.2 ESPALHAMENTO ESPECTRAL

Nos sistemas que empregam espalhamento de espectro (SS - *Spread Spectrum*), o sinal a ser transmitido utiliza uma faixa de frequência muito maior do que a faixa mínima necessária. O espalhamento/desespalhamento é consequência direta da aplicação do CDMA. Na figura 2.1 observa-se um esquema que representa o conceito da modulação por espalhamento espectral (CDMA).

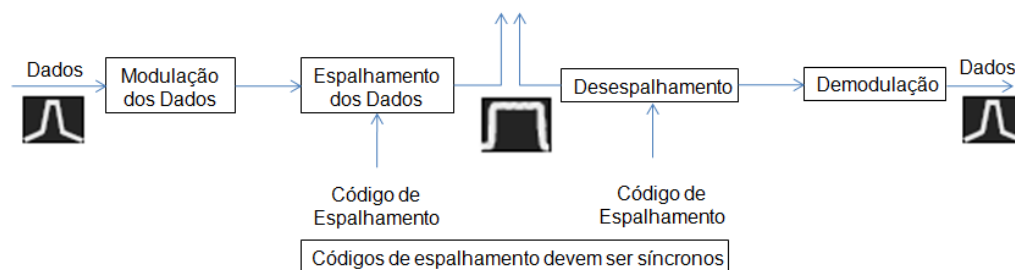


Figura 2.1: Conceito da Modulação por Espalhamento Espectral com técnica de Sequência Direta (CDMA)

Como exemplo, tem-se um sinal onde os dados do usuário sofrem modulação BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) e têm uma taxa R . A operação de espalhamento é a multiplicação de cada bit de usuário por uma sequência de 8 códigos de bit chamado *chip*. Assume-se que esta sequência também sofre modulação BPSK. Observa-se no exemplo da figura 2.2 que os dados de usuário espalhados resultante têm uma taxa $8 \times R$ e tem a mesma aparência aleatória que a sequência do código de espalhamento. Neste caso diz-se que foi utilizado um fator de espalhamento igual a 8.

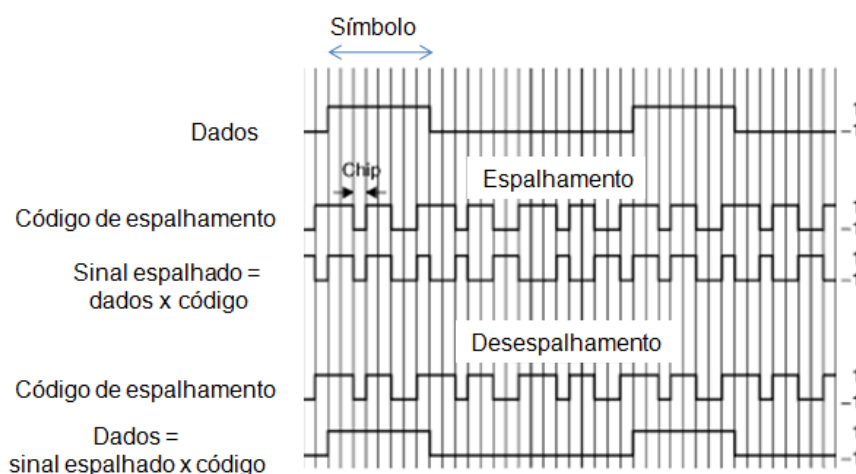


Figura 2.2: Espalhamento e Desespalhamento no DS-CDMA

Utilizando o mesmo sinal citado anteriormente como exemplo, durante o desespalhamento multiplica-se a sequência de dados do usuário, bit por bit pelo mesmo código de 8 bits como é feito no espalhamento. A sequência original é perfeitamente recuperada, desde que haja perfeita sincronização entre o sinal de usuário espalhado e o código de desespalhamento como mostra a figura 2.3. O aumento da taxa de sinalização por um fator de 8 corresponde a um aumento, também por um fator de 8, da ocupação do espectro pelo sinal de dados do usuário.

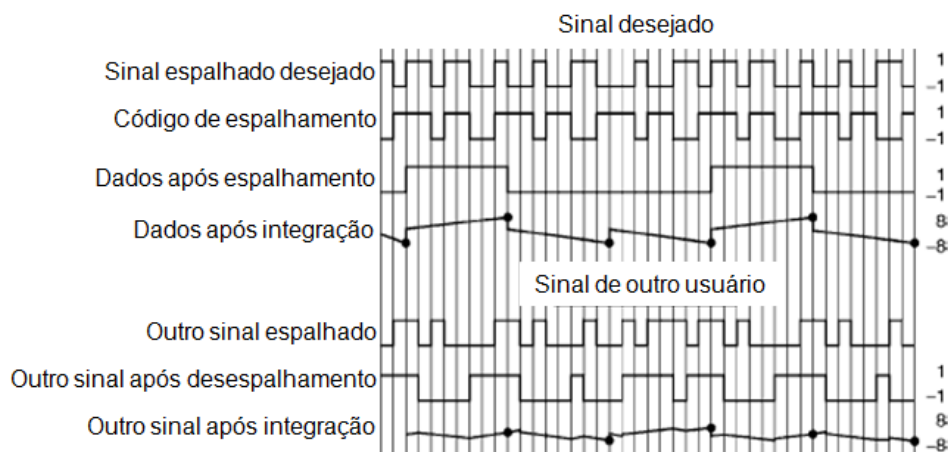


Figura 2.3: Princípio do receptor de correlação do CDMA

Verifica-se que a amplitude do próprio sinal aumenta, em média, um fator de 8 em relação à amplitude de um sinal interferente. Este efeito é chamado ganho de processamento e é um aspecto fundamental dos sistemas CDMA e sistemas que usam espalhamento espectral. O ganho de processamento é que possibilita aos sistemas CDMA ter maior robustez contra auto-interferência, necessária para a reutilização de portadoras de 5 MHz disponíveis em distâncias geograficamente mais próximas.

Como exemplo de parâmetros reais, supondo um serviço de voz com uma taxa de bits de 12,2 Kbps e uma taxa de *chip* de $3,84 \times 10^6$ chips/s tem-se um ganho de espalhamento (ver Seção 2.2.1) de $10 \log [3,84 \times 10^6 / 12,2 \times 10^3]$, ou seja, 25 dB (Holma e Toskala, 2004). A densidade de potência requerida sobre a densidade de potência da interferência é designada como E_b/N_0 , onde E_b é a energia por bit do usuário, e N_0 é a interferência definida pela densidade de potência de ruído. Para serviço de voz E_b/N_0 é tipicamente da ordem de 5,0 dB, e a relação sinal-ruído exigida é, portanto, 5,0 dB menos o ganho de processamento, ou seja, -20,0 dB. Em outras palavras, o sinal pode estar 20 dB abaixo do nível da relação sinal-ruído e, mesmo assim o receptor conseguirá detectar o sinal. A relação portadora/interferência é chamada *C/I* (*carrier-to-interference*). Devido os processos de espalhamento e desespalhamento, a *C/I* exigida no WCDMA pode ser menor do que no GSM. Para uma boa qualidade de serviço de voz no GSM é necessário um *C/I* de 9 a 12 dB.

O ganho de processamento juntamente com a faixa larga disponível possibilita um reuso de frequência igual a um entre diferentes células de um sistema. Essa característica possibilita uma alta eficiência espectral.

2.2.1 Tolerância à interferência de faixa estreita

Um sistema que utiliza espalhamento espectral é tolerante à interferência de faixa estreita como mostrado na figura 2.4.

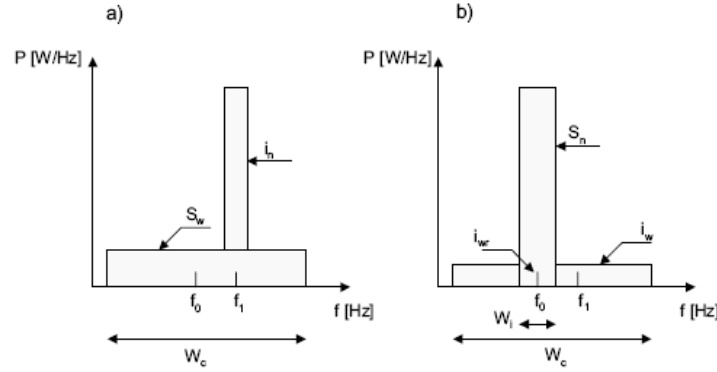


Figura 2.4: Processo de desespalhamento na presença de interferência

Supondo um sinal de faixa larga S_w que é recebido na presença de um sinal interferente com faixa estreita i_n , o processo de espalhamento é representado na equação a seguir, onde $\epsilon(\cdot)$ é a função de espalhamento e $\epsilon^{-1}(\cdot)$ é a função de inversão.

$$\epsilon^{-1}(S_w + i_n) = \epsilon^{-1}[\epsilon(S_n)] + \epsilon^{-1}(i_n) = S_n + i_w \quad (2.1)$$

A operação de desespalhamento converte o sinal de entrada em uma soma do sinal desejado em faixa estreita e sinal interferente em faixa larga. Após o desespalhamento é feita uma filtragem em faixa estreita com um filtro de faixa B_n igual à largura de faixa de W_i , representada pela função $F(\cdot)$. Isso resulta em:

$$F(S_n + i_w) = S_n + F(i_w) = S_n + i_{wr} \quad (2.2)$$

ou seja, apenas uma pequena parte da energia do sinal interferente passa pelo filtro e permanece como interferência residual, porque a largura de faixa de W_c de i_w é muito maior do que W_i .

A relação entre a largura de faixa de modulação e a largura de faixa do sinal de informação é chamado de ganho de espalhamento, G_p :

$$G_p = \frac{W_c}{W_i} \quad (2.3)$$

Quanto maior o ganho de espalhamento do sistema maior o poder de suprimir sinais interferentes não correlatos no processo de desespalhamento. Assim o ganho de espalhamento pode ser visto como um fator de melhoria na razão sinal-ruído do sinal após o desespalhamento.

2.2.2 Tolerância à interferência Faixa Larga

A tolerância à interferência de faixa larga é menos simples do que a tolerância à interferência de faixa estreita, mas o princípio é o mesmo - uso do receptor de correlação. A idéia básica é que o receptor correlaciona um sinal referência com um sinal de entrada que é composto de vários sinais diferentes de CDMA (de diferentes usuários ou canais), de interferência em geral (a partir de outros sistemas RF) e de ruído (de natureza térmica) principalmente.

O sistema WCDMA trabalha com códigos complexos que resultam da combinação de códigos de espalhamento e embaralhamento. Isso resulta em um sinal com aspecto típico de um sinal aleatório. Normalmente, um receptor CDMA não é apenas um simples receptor de correlação, mas um dispositivo que combina vários receptores de correlação sob um controle comum. Seu objetivo é receber sinais de trajetos com atrasos e características diferentes de reflexão e difração, combinando estes sinais. Este dispositivo é conhecido como receptor *Rake* (Laiho, Wacker e Novosad, 2006).

2.2.3 Espalhamento Espectral por Sequência Direta

A obtenção do espalhamento pode ser feita através das seguintes técnicas:

- Espalhamento espectral por sequência direta (DS – *Direct Sequence*);
- Espalhamento espectral por salto em frequência (FH – *Frequency Hopping*);
- Espalhamento espectral por salto no tempo (TH – *Time Hopping*);
- Espalhamento espectral híbrido.

O sistema WCDMA emprega a técnica de Sequência Direta. Nesta técnica, o

espalhamento é obtido pela multiplicação da mensagem original por uma sequência de bits em uma taxa muito maior do que a utilizada na informação a ser transmitida. Na sequência responsável pelo espalhamento a unidade de transmissão é denominada *chip* para diferenciar da palavra bit da mensagem original. O desespalhamento do sinal é feito por uma operação inversa, onde o receptor gera uma versão sincronizada da sequência original.

O sinal do usuário é espalhado em primeiro lugar pelo código de canalização, que é chamado OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*), sendo a sua construção feita com base na matriz de Hadamard (3GPP TS 25.213, 2002). Seu uso garante capacidade máxima, medida pelo número de usuários ativos. Agora, os sinais de todos os usuários espalhados são embaralhados por uma sequência específica com propriedades estatísticas de uma sequência aleatória. Assim, o sistema pode acomodar o número máximo de usuários, e o sinal de saída tem um espectro muito plano, sem picos espectrais dominantes.

2.3 ARQUITETURA DA REDE

Funcionalmente os elementos de rede são agrupados no UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*), que lida com todas as funcionalidades relacionadas à rede de rádio, bem como o núcleo da rede (*Core Network – CN*), que é responsável pela comutação e encaminhamento de chamadas e conexões de dados para redes externas. Para completar o sistema, é definido o equipamento do usuário (*User Equipment - UE*) que faz interface com a rede rádio. Do ponto de vista de especificação e normatização tanto o UE quanto a UTRAN consistem de protocolos completamente novos, pois a arquitetura em questão está baseada nas necessidades do WCDMA. Entretanto, a definição do CN foi adotada a partir do GSM. Isto dá ao sistema WCDMA, com nova tecnologia de rádio, conhecimento em nível global e tecnologia robusta de CN que acelera e facilita a sua introdução.

Na figura 2.5 tem-se um esquema detalhado de todos os elementos que compõem a rede UMTS.

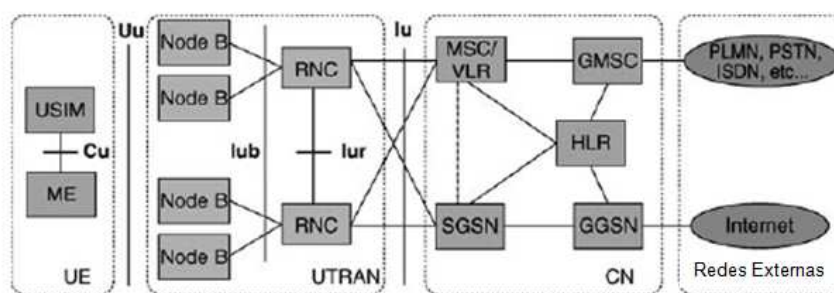


Figura 2.5: Elementos da rede UMTS

O UE é constituído por duas partes:

- Equipamento móvel (*Mobile Equipment - ME*) é o terminal rádio utilizado para comunicação rádio através da interface Uu;
- O módulo de identificação do usuário UMTS (*UMTS Subscriber Identity Module - USIM*) é um cartão inteligente que detém a identidade do assinante, realiza algoritmos de autenticação e armazena chaves de autenticação e criptografia.

A UTRAN também é constituída por dois elementos distintos:

- O equipamento da estação rádio base (*Node B*) converte o fluxo de dados entre as interfaces Iub e Uu e também participa do gerenciamento de recursos de rádio;
- O controlador da rede de rádio (*Radio Network Controller – RNC*) possui e controla os recursos de rádio em seu domínio. O RNC é o ponto de acesso para todos os serviços que a UTRAN fornece ao CN, como, por exemplo, a gestão das ligações do UE.

O *Core Network* é constituído de:

- HLR (*Home Location Register*) é uma base de dados que armazena a cópia do perfil de serviço do usuário. O perfil de serviço consiste em informações sobre serviços autorizados, áreas de *roaming* proibidas, etc. Para efeitos de roteamento das transações recebidas para o UE (por exemplo, chamadas ou mensagens curtas), o HLR também armazena a localização do UE sobre o nível da MSC / VLR e/ou SGSN, ou seja, sobre o nível de serviço do sistema;
- MSC/VLR (*Mobile Services Switching Centre/Visitor Location Register*) é o controlador (MSC) e a base (VLR), que serve o UE na sua atual localização para serviços CS (*Circuit Switched*). A função do MSC comutar as transações CS e o VLR mantém uma cópia do perfil de serviço do usuário visitante;

- GMSC (*Gateway MSC*) é o ponto onde o UMTS está ligado a redes CS externas através da PLMN. Todas as ligações CS recebidas e enviadas passam pelo GMSC;
- SGSN (*Serving GPRS Support Node*) tem a mesma funcionalidade do MSC/VLR, mas geralmente é utilizado para serviços PS (*Packet Switched*);
- GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) tem a mesma funcionalidade do GMSC, mas em relação aos serviços PS.

As redes externas podem ser divididas em dois grupos:

- Redes CS: fornecem conexões de circuitos. As redes existentes de telefonia ISDN e PSTN são exemplos de rede CS;
- Redes PS: estes pacotes oferecem ligações para serviços de dados. A Internet é um exemplo de uma rede PS.

2.4 PLANEJAMENTO DE REDES WCDMA

De forma similar aos sistemas 2G, o planejamento de redes 3G pode ser dividido em três fases: planejamento inicial, planejamento detalhado e operação de rede e otimização. Cada fase requer funções de apoio adicionais, tais como medições de propagação e definição de indicadores de desempenho. Em um sistema celular onde todas as conexões operam na mesma portadora, o número de usuários simultâneos influencia diretamente o nível de ruído nos receptores. Portanto, no caso do UMTS, a fase de planejamento de cobertura não pode ser separada do planejamento de capacidade. A variedade de serviços requer modificações no processo de planejamento e uma delas está relacionada com a qualidade de serviço.

A meta de qualidade deve ser definida para cada serviço. Na prática, isso significa que o requisito mais rigoroso deve determinar a configuração da estação rádio base. Além da probabilidade de cobertura, os critérios de qualidade de serviço para pacotes de dados estão relacionados com os requisitos de atrasos aceitáveis e taxa de transferência. A estimativa dos atrasos na fase de planejamento exige um bom conhecimento do comportamento do usuário e compreensão das funções do gerenciador de pacotes de dados.

Nos sistemas 2,5G/2G atuais, o enlace de subida e o enlace de descida tendem a ser balanceados. O mesmo não acontece nos sistemas 3G, onde um dos enlaces pode estar mais carregado que o outro, de modo que qualquer um deles poderá estar limitando a capacidade da

célula ou a cobertura. O cálculo de propagação é basicamente o mesmo para todas as tecnologias de acesso via rádio, com a ressalva de que diferentes modelos de propagação podem ser usados.

Outra característica comum é a análise de interferência. No caso do WCDMA essa análise é necessária para avaliar o carregamento da rede e para fazer análise de sensibilidade. No caso do TDMA e do FDMA é essencial para fazer alocação de frequências.

O objetivo da fase de dimensionamento é realizar estimativas dos custos e dos investimentos associados. O planejamento inicial fornece a primeira e mais rápida avaliação da quantidade de elementos da rede, bem como a capacidade associada a esses elementos. A meta do planejamento inicial é estimar a densidade necessária de estações rádio base e as configurações da estação para a área de interesse. Essa fase inclui as atividades de cálculo de enlace, análise de cobertura, avaliação da capacidade e por último a quantidade de estações rádio base e *hardware* dessas estações, quantidade de RNC e elementos do CN. A distribuição do serviço, a densidade de tráfego, as estimativas de crescimento de tráfego e requisitos de qualidade de serviço são elementos essenciais na fase de planejamento inicial. A qualidade é levada em conta em termos de avaliação da probabilidade de bloqueio e de cobertura. O cálculo de enlace é feito para cada serviço e o requisito mais crítico determina a perda máxima permitida no trajeto.

O planejamento detalhado leva em conta a localização real das estações rádio base, as condições de propagação calculadas sobre mapas digitais e a distribuição real de usuários com base nas previsões de tráfego da operadora. Depois de finalizado o planejamento detalhado, a cobertura da rede, a capacidade e outros indicadores de desempenho podem ser analisados.

O controle de interferência é muito importante tanto em uma rede 3G que utiliza apenas uma portadora, como em redes que utilizam mais de uma portadora devido à interferência do canal adjacente. Devem ser enfatizadas as precauções tomadas para apoiar esse controle de interferência logo na fase de planejamento de rede.

De forma resumida, o dimensionamento de uma rede WCDMA envolve os seguintes itens:

- Cobertura:
 - área de cobertura;
 - tipos de informação da área a cobrir;

- condições de propagação.
- Capacidade:
 - espectro disponível;
 - previsão do crescimento do número de assinantes;
 - densidade de tráfego.
- Qualidade de Serviço:
 - probabilidade de cobertura;
 - probabilidade de bloqueio;
 - taxa de transferência do usuário.

2.4.1 Questões específicas do cálculo de enlace no WCDMA

Para estimar o raio máximo de cobertura de uma célula inúmeros parâmetros devem ser levados em conta. Por exemplo, o ganho das antenas, a perda nos cabos, o ganho de diversidade, as margens de desvanecimento, etc. O resultado do cálculo é a máxima perda de propagação permitida no trajeto, determinando o raio da célula e também o número de estações rádio base necessárias. Existem alguns itens específicos para o WCDMA se comparado com sistemas de rádio de acesso baseado na técnica TDMA, como é o caso do GSM. Estes itens incluem a margem de degradação por interferência, a margem devido ao desvanecimento rápido, o aumento da potência de transmissão e o ganho de *soft handover*.

A margem de interferência é necessária devido ao carregamento da célula, ao coeficiente de ocupação e por afetar a cobertura. Quanto maior a carga no sistema, maior é a margem de interferência necessária e menor a área de cobertura. Para uma área de cobertura limitada é necessária uma menor margem de interferência. Ao contrário, no caso de capacidade limitada, tem-se uma maior margem de interferência. Valores típicos para margem de interferência em casos de cobertura limitada são de 1,0 a 3,0 dB correspondendo a uma faixa de 20 a 50% de carregamento (Holma e Toskala, 2004).

A margem associada ao desvanecimento rápido é necessária para que a potência de transmissão do móvel seja suficiente para manter o controle rápido de potência em malha fechada (*fast closed loop power control*) adequado (ver Capítulo 3). Isto se aplica

especialmente a estações móveis em baixa velocidade onde o controle rápido de potência em malha fechada é capaz de compensar efetivamente o desvanecimento rápido. Valores típicos para a margem, devido ao desvanecimento rápido, é de 2.0 a 5.0 dB para móveis em baixas velocidades (Holma e Toskala, 2004).

Além disso, também deve ser considerado o ganho de *soft handover*. O principal objetivo do *soft handover* é possibilitar que o móvel faça uma passagem contínua de uma célula para outra e acrescentar robustez ao sistema. Estes dois objetivos são alcançados através de três tipos de ganho obtidos por esse processo de *handover*. O ganho de macro diversidade contra o desvanecimento lento, o ganho de micro diversidade contra o desvanecimento rápido e compartilhamento de carga no enlace de descida através do qual o móvel em *soft handover* recebe sinais de diversas estações. Estes três ganhos de *soft handover* podem ser mapeados para uma melhor cobertura e capacidade do sistema.

2.4.2 Indicadores de desempenho do enlace rádio no WCDMA

Normalmente, os indicadores de desempenho do enlace são produzidos por um simulador ou através de medidas em laboratório com uma estação rádio base real, uma estação móvel e um simulador de canal. Os indicadores de desempenho dos enlaces são amplamente utilizados no planejamento e dimensionamento da rede de rádio, portanto, devem ser os mais realistas e coerentes possíveis, abrangendo todos os casos pertinentes. Os algoritmos do modelo de simulação do receptor e transmissor devem se aproximar o mais possível da situação real que se encontra quando o sistema está em operação. Uma maneira de conseguir isso é observando o que é necessário sobre os requisitos de desempenho indicados pelos padrões 3GPP.

Os requisitos de desempenho do enlace são diferentes para serviços diferentes. Isto se deve, por exemplo, aos diferentes esquemas de codificação de canal e complexidade do entrelaçamento. Premissas sobre o canal de propagação de rádio devem ser cuidadosamente escolhidas, pois as condições de propagação têm um efeito significativo sobre os indicadores de desempenho do enlace. Além disso, a velocidade da estação móvel também deve ser tomada em consideração.

Na realidade, as condições do canal variam de célula para célula e até mesmo dentro da própria célula. Assim, escolher um modelo específico de propagação multi-percurso, como normalmente é feito em simulações, não é ideal. No entanto, é a única maneira de assegurar a

coerência quando se compara as questões na fase de desenvolvimento, tais como o desempenho de diferentes algoritmos de recepção e de algoritmos de gestão de recursos em diferentes níveis de rede, ou mesmo diferentes abordagens na implantação da célula.

O modelo de propagação estima o sinal médio (90%) para determinado ambiente e converte a perda máxima de propagação em dB relacionando com o raio máximo da célula em km. O processo de avaliação do raio da célula é resumido na figura 2.6 (Holma e Toskala, 2004):

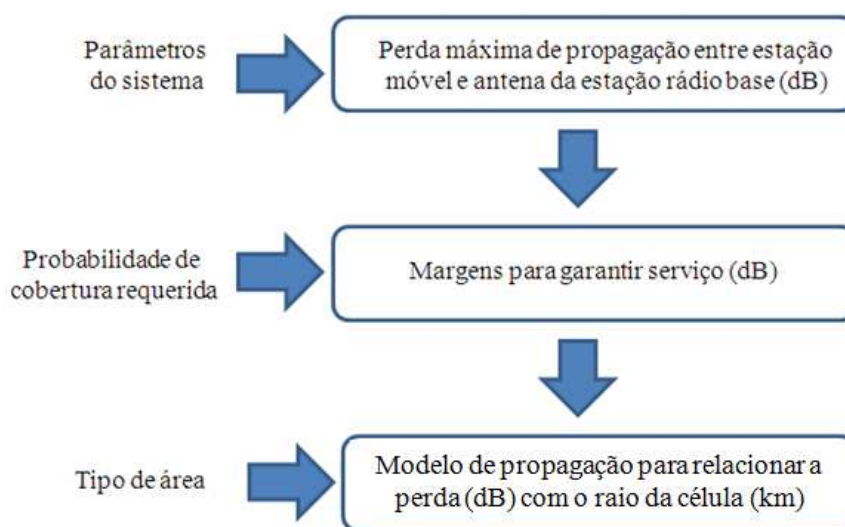


Figura 2.6: Cálculo do raio da célula

Os indicadores de desempenho do enlace podem ser classificados tomando por referência:

- O sentido da transmissão (enlace de subida, enlace de descida);
- a velocidade da estação móvel;
- a taxa de bits (voz a 8 Kbps e 12,2 Kbps, pacotes de dados, dados comutados por circuito);
- o modelo de propagação multi-percurso (modelos UIT, modelos 3GPP);
- o ambiente (urbano denso, urbano, suburbano, rural);
- a implantação de células (macro, micro, pico);
- a solução de diversidade (1, 2 ou 4 receptores; diversidade de transmissão).

2.4.2.1 Taxa de Erro de Bloco (BLER)

É a taxa de erro de bloco média calculada para os blocos de transporte (TB - *Transport Block*). O TB é considerado errado, se tiver pelo menos um erro de bit. O sistema consegue verificar a correção dos blocos com alta confiabilidade através do controle cíclico de redundância (CRC – *Cyclical Redundancy Checking*).

2.4.2.2 Taxa de Erro de Bit (BER)

Refere-se à taxa de erro de bit de informação, ou seja, de bits do usuário após a decodificação.

2.4.2.3 Taxa de Bit (R)

A taxa de bit, R , utilizada nas simulações do nível do enlace refere-se a blocos de informação do usuário. Isso significa que a sobrecarga vinda da camada física como bits de CRC, bits de codificação e bits de controle de DPCH, é adicionada nas simulações. Porém, essa sobrecarga só aumenta a energia necessária para o transporte de blocos de informação com a qualidade exigida (BER, BLER) sobre a interface aérea para os bits de informação. Retransmissões não são tipicamente modeladas em simulações do nível do enlace, a menos que alguns esquemas específicos com pedido de repetição automática (ARQ - *Automatic Repeat Request*) estejam sendo testados.

2.4.2.4 E_b/N_0 e Ortogonalidade (α)

Conceitualmente, o significado de E_b/N_0 corresponde a energia de bit dividida pela densidade espectral de ruído. No entanto, ao longo do tempo, a expressão E_b/N_0 passou a ter um significado adicional. A razão para esta extensão é o fato de no CDMA, a densidade espectral de interferência ser adicionada à densidade espectral de ruído devido à operação de espalhamento. Assim, N_0 geralmente pode ser substituído por I_0 , interferência mais densidade espectral de ruído. O indicador de desempenho E_b/N_0 é sempre relacionado com alguma qualidade de BLER alvo. A equação a seguir é um exemplo básico de como calcular E_b/N_0 no enlace de subida. Suponha que o sinal é recebido com uma potência constante p_{rx} e a potência

interferente recebida é I . Acrescente ainda que a taxa de bits do usuário seja R e a largura de faixa seja W . Admitindo que a interferência seja uniformemente distribuída na faixa de frequências de largura W (Hz), ou seja, igual a taxa de chip e a energia de bit é p_{rx}/R (W), chega-se a:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{p_{rx}/R}{IW} = \frac{W}{R} \frac{p_{rx}}{I} \quad (2.4)$$

A meta do controle rápido de potência no WCDMA é manter a E_b/N_0 recebida constante. Conforme será visto no Capítulo 3, devido à frequência rápida da malha de controle (1,5 kHz), este mecanismo é bastante efetivo. Isso significa que para um determinado serviço, escolhidas as condições de propagação do canal e a BLER necessária, a potência recebida no canal de tráfego dividida pela potência interferente é aproximadamente constante.

No enlace de descida a E_b/N_0 é definida de outro modo devido à introdução do fator de ortogonalidade α . Então é calculada pelo modelo da equação abaixo (Laiho, Wacker e Novosad, 2006):

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{R} \cdot \frac{p_{rx}}{I_{own} \cdot (1 - \alpha) + I_{oth} + P_n} \quad (2.5)$$

onde I_{own} é a potência total recebida a partir da célula servidora; I_{oth} é a potência total recebida das células vizinhas, e P_n é a potência de ruído (térmico e dos equipamentos). O fator de ortogonalidade α depende das condições instantâneas do multi-percurso. Os códigos são totalmente ortogonais, assim, no caso de não haver multi-percurso a interferência da célula que está servindo é cancelada e $\alpha=1$. Se, por exemplo, existem dois trajetos de propagação igualmente fortes, apenas metade da interferência é cancelada do ponto de vista do receptor e $\alpha=0.5$ neste instante. Observe que E_b/N_0 e α devem sempre ser levados em conta juntos, porque no cálculo da capacidade do enlace de descida ou da eficiência espectral, esses parâmetros juntos são os insumos para o modelo de desempenho do enlace.

2.4.2.5 E_c/I_0

E_c/I_0 é a energia de chip recebida em relação à densidade espectral de ruído mais a interferência. No enlace de subida isso é o mesmo que E_b/N_0 dividido pelo ganho de processamento, ou seja, W/R . No enlace de descida I_0 é a densidade espectral de potência

total recebida quando o efeito de ortogonalidade não é levado em conta.

2.4.2.6 E_c/I_{or}

E_c/I_{or} é a energia transmitida por chip em relação à densidade espectral da potência total recebida pela estação rádio base e é utilizada no cálculo dos requisitos de desempenho do enlace de descida.

2.4.2.7 Aumento médio de potência

No caso de uma estação móvel em baixa velocidade, o controle rápido de potência é capaz de compensar o desvanecimento rápido razoavelmente bem dentro da faixa de controle de potência, de modo que a média E_b/N_0 necessária para a BLER requerida é baixa. Por outro lado, devido à profundidade dos desvanecimentos, a potência transmitida tem um comportamento de pico modelado pelo aumento médio de energia como mostrado na figura 2.7 (Laiho, Wacker e Novosad, 2006):

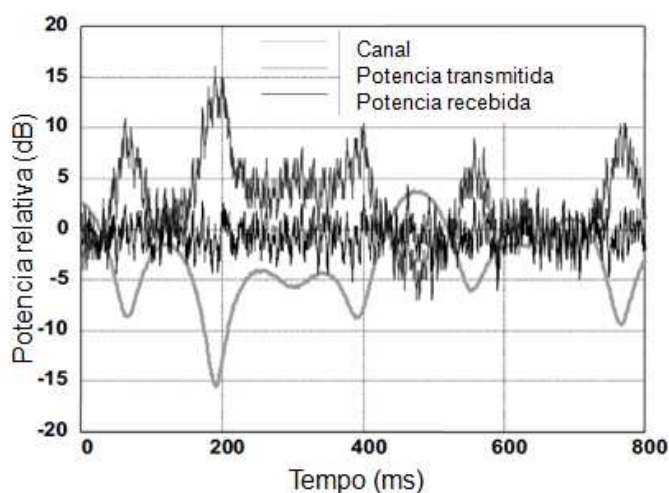


Figura 2.7: Eficiência do controle de potência em simulação com estação móvel em baixa velocidade

No enlace de subida, o aumento de potência provoca aumento da interferência recebida das células vizinhas e, no enlace de descida, o aumento médio de energia está incluído no cálculo de E_b/N_0 .

2.4.2.8 Margem de Controle de Potência

O cálculo de cobertura do enlace de subida começa a partir da E_b/N_0 requerida. A E_b/N_0 pode ser baixa para estações móveis com baixa velocidade, mas o custo está no lado da transmissão devido à compensação dos desvanecimentos. Quando uma estação móvel com baixa velocidade se aproxima da borda da célula, a potência de transmissão da mesma ocasionalmente atinge seu valor máximo devido à profundidade do desvanecimento. Assim, é necessária uma margem no cálculo do enlace para os móveis com baixa velocidade. Essa margem é chamada de margem de controle de potência.

2.4.2.9 Ganho de combinação de macro diversidade (MDC – *Macro Diversity Combining Gain*)

O ganho de combinação de macro diversidade é a redução da E_b/N_0 requerida por enlace no *soft* ou *softer handover* quando comparada com a situação em que há, apenas, um enlace rádio. Devido ao controle de potência, o ganho é pequeno quando medido como a média da E_b/N_0 requerida. No entanto, quando medido como o pico de potência necessária, ou seja, na borda da célula, é um ganho substancial.

No dimensionamento, a redução da potência de pico requerida pode ser modelada por uma margem reduzida de controle de potência. Observe que normalmente o ganho de MDC é maior no enlace de descida do que no enlace de subida. Isto não significa que o *soft handover* tem maior ganho líquido no enlace de descida do que no enlace de subida. É apenas uma questão de definição, a saber, que cada conexão de *soft handover* no enlace de descida acrescenta a contribuição de um canal transmissor adicional para a potência total de transmissão. Por exemplo, se o ganho MDC foi de 3 dB para um *soft handover* de duas vias de transmissão no enlace de descida, o ganho líquido na potência total de transmissão seria 0 dB.

O ganho MDC não deve ser confundido com o ganho de *soft handover* multi-célula que resulta da capacidade de manter sempre a melhor célula no conjunto ativo. Um ganho similar também poderia ser alcançado pelo *hard handover*.

2.4.2.10 Interferência (i)

A interferência “ i ”, na verdade não é um indicador de desempenho do nível do enlace, mas um dos principais fatores que afetam a eficiência espectral de uma rede rádio CDMA. Esse fator se refere à potência interferente recebida que é calculada como a soma da potência recebida de células vizinhas dividida pela soma da potência interferente recebida da célula servidora de acordo com a equação,

$$i = \frac{I_{oth}}{I_{own}} \quad (2.6)$$

No enlace de subida, i afeta todas as conexões de uma célula da mesma forma, uma vez que é calculado para o receptor da estação rádio base. No enlace de descida é calculado para cada estação móvel e, portanto, é altamente dependente da sua localização. No entanto, pode ser mostrado, assumindo o tráfego homogêneo e estações rádio base similares em todas as células, que a i média de todos os móveis na rede é o mesmo que a i média de todas as estações rádio base. Os valores típicos para i variam entre 0,15 (micro-células bem isoladas) e 1,2 (planejamento de rede considerado ruim) (Laiho, Wacker e Aikio, 2000).

2.4.2.11 Fator de Geometria (G)

O fator de geometria, G , utilizado principalmente no enlace de descida, é quase o mesmo que o inverso de i . G é definido como a relação entre a potência recebida a partir da célula que serve dividida pela potência recebida das células vizinhas mais o ruído térmico, ou seja:

$$G = \frac{I_{own}}{I_{oth} + P_N} \quad (2.7)$$

Pode-se observar que, se a rede é limitada por interferência no enlace de descida, ou seja, $P_N \ll I_{oth}$, tem-se aproximadamente $G=1/i$. O fator de geometria reflete a distância da estação móvel em relação à antena da estação rádio base. A gama de valores típica varia de 3 dB a 20 dB, onde é 3dB é o valor para a borda da célula. G é geralmente um parâmetro de entrada nas simulações do nível do enlace de descida.

2.4.3 Cálculo do Enlace de subida

A margem de degradação por interferência é uma função da carga da célula. Quanto mais carga é permitida no sistema, uma maior margem de interferência é necessária no enlace de subida e a área de cobertura diminui. A carga no enlace de subida pode ser derivada como descrito a seguir. Por simplicidade, a derivação é feita com a atividade de serviço $\nu=1$. A atividade de serviço define a continuidade de uso do serviço, ou seja, durante uma conexão de voz ou de dados, o fluxo de dados pode não ser contínuo e esses intervalos de tempo podem ser utilizados para outros fluxos. Relaciona-se a continuidade do serviço com a carga do sistema através desse fator de atividade de serviço e, quanto mais intenso o fluxo de dados, menor é a capacidade do sistema.

Para encontrar a potência de transmissão e recepção requerida para a estação móvel (EM) k conectada a uma estação rádio base n particular, a equação base E_b/N_0 (2.8) é usada.

Uma hipótese geralmente utilizada é a de que a I_{oth} , a energia interferente recebida das estações móveis ligadas a outras células, é diretamente proporcional (constante de proporcionalidade i) a I_{own} , potência recebida das estações móveis ligadas à mesma estação rádio base n que a estação móvel desejada.

Supondo que a estação móvel k usa taxa de bits R_k , a sua E_b/N_0 exigida é ρ_k e a taxa de *chip* do WCDMA é W . Então, a energia recebida p_k do k_{th} móvel na estação rádio base a qual está ligado deve ser:

$$\frac{W}{R_k} \cdot \left(\frac{p_k}{I_{own} - p_k + I_{oth} + N} \right) = \frac{W}{R_k} \cdot \left(\frac{p_k}{I_{own} - p_k + iI_{own} + N} \right) \geq \rho_k, k = 1, \dots, K_n \quad (2.8)$$

onde K_n é o número de estações móveis ligadas à estação rádio base n ,

$$N = N_0 \cdot W = N_f \cdot k \cdot T_0 \cdot W \quad (2.9)$$

é a potência de ruído para uma célula vazia; N_f é a figura de ruído do receptor; κ é a constante de Boltzmann ($1.381 \cdot 10^{-23}$ Ws/K) e T_0 é a temperatura absoluta. Para $T_0 = 293K$ e $N_f = 1$, isso resulta em $N_0 = -174.0$ dBm/Hz e $N = -108.1$ dBm.

As desigualdades na equação (2.8) são um pouco otimistas, porque se presume que não há interferência do próprio sinal, o que não é exatamente verdade para condições reais de propagação multi-percurso. A equação (2.8) é, no entanto, escolhida para evitar levar em

conta interferência de multi-percurso duas vezes, ou seja, os requisitos de E_b/N_0 determinados a partir das simulações de nível do enlace são apresentados de modo que N_0 significa apenas ruído e a interferência de multi-percurso só é visível para um maior valor de E_b/N_0 e uma determinada BER. Resolvendo as desigualdades para a potência mínima de recepção (sensibilidade), p_k , obtém-se:

$$pk \left(1 + \frac{\rho k \cdot Rk}{W} \right) = \frac{\rho k \cdot R_k}{W} \cdot (1+i) \cdot I_{own} + \frac{\rho k \cdot R_k}{W} \cdot N \Rightarrow \quad (2.10)$$

$$pk = \frac{1}{1 + \frac{\rho k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \cdot I_{own} + \frac{1}{1 + \frac{\rho k \cdot R_k}{W}} \cdot N, k = 1, \dots, K$$

Somando o valor de p_k para as estações móveis ligadas à estação rádio base n ,

$$\sum_{k=1}^{K_n} p_k = \left[\sum_{k=1}^{K_n} \frac{1}{1 + \frac{\rho k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \right] \cdot \sum_{k=1}^{K_n} p_k + \left[\sum_{k=1}^{K_n} \frac{1}{1 + \frac{\rho k \cdot R_k}{W}} \right] \cdot N \Rightarrow \quad (2.11)$$

$$\sum_{k=1}^{K_n} p_k \cdot (1+i) = \frac{N \cdot \left[\sum_{k=1}^{K_n} \frac{1}{1 + \frac{\rho k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \right]}{1 - \left[\sum_{k=1}^{K_n} \frac{1}{1 + \frac{\rho k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \right]}$$

onde,

$$I_{own} = \sum_{k=1}^{K_n} p_k \quad (2.12)$$

Definindo a carga no enlace de subida como,

$$\eta_{UL} = \sum_{k=1}^{K_n} \frac{1}{1 + \frac{\rho k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \quad (2.13)$$

A equação (2.13) pode ser modificada para incluir o efeito de setorização (ganho de

setorização, ζ , e número de setores, N_s) e a atividade de serviço, v :

$$\eta_{UL} = \sum_{k=1}^{K_n} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho k \cdot R_k}} \cdot v_k \cdot \left(1 + i \cdot \frac{N_s}{\zeta} \right) \quad (2.14)$$

2.4.4 Cálculo do Enlace de descida

O dimensionamento no enlace de descida segue a mesma lógica do enlace de subida. Para um conjunto de células selecionadas a potência de transmissão total da estação rádio base deve ser estimada. Nesta estimativa as conexões de *soft handover* devem ser incluídas. Se a potência for excedida, ou o intervalo de células deve ser limitado, ou o número de usuários em uma célula deve ser reduzido. O carregamento no enlace de descida é estimado com base na equação a seguir (Laiho, Wacker e Novosad, 2006),

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^I \left[\frac{\rho_i \cdot R_i \cdot v_i}{W} \cdot \left((1 + \alpha_i) + \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{Lp_{mi}}{Lp_{ni}} \right) \right] \quad (2.15)$$

onde Lp_{mi} é a perda no enlace da estação rádio base m que serve a estação móvel i ; Lp_{ni} é a perda no enlace de outra estação rádio base n para estação móvel i ; ρ_i é a E_b/N_0 requerida para a estação móvel i , incluindo o ganho de *soft handover* e o aumento da potência média causada pelo controle rápido de potência; N é o número de estações rádio base, I é o número de conexões em um setor e α_i é o fator de ortogonalidade, que se encontra na faixa de 0 a 1 dependendo das condições de trajeto de energia ($\alpha = 1$: totalmente ortogonais). O termo

$$i_{DL} = \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{Lp_{mi}}{Lp_{ni}} \quad (2.16)$$

define a relação de interferência dos móveis das células vizinhas em relação à interferência dos móveis da própria célula que serve o móvel em questão no enlace de descida. Um resultado direto do cálculo do enlace de descida é a potência requerida por um usuário na borda da célula.

A estimativa da potência total transmitida da estação rádio base deve levar em conta múltiplos enlaces de comunicação com distância média Lp_{mi} em relação à estação rádio base

servidora. Além disso, o ambiente multi-célula com fator de ortogonalidade α_i deve ser incluído na modelagem. No cálculo do enlace de subida, o fator limitante é a potência de transmissão da estação móvel; no enlace de descida o limite é a potência total de transmissão da estação rádio base.

A margem de degradação por interferência, L , que deve ser tida em conta no cálculo de enlace devido a certa carga η (tanto em enlace de subida ou enlace de descida) é

$$L = 10 \cdot \log_{10}(1 - \eta) \quad (2.17)$$

A margem de desvanecimento rápido ou margem de controle de potência é outro item específico do cálculo de enlace do WCDMA. É necessário introduzir uma margem na potência de transmissão da estação móvel para manter o controle rápido de potência de malha fechada quando está em condições desfavoráveis de propagação. Isso se aplica especialmente aos usuários pedestres, onde a E_b/N_0 a ser mantida é mais sensível ao controle de potência de malha fechada. Outro impacto do controle rápido de potência é a maior potência de transmissão média necessária. Em uma estação móvel com movimento lento, o controle de potência é capaz de acompanhar o desvanecimento do canal e aumentar a potência de transmissão média. Para a célula que serve o móvel em questão, o aumento da potência de transmissão é necessário para proporcionar qualidade adequada para a conexão e não causa nenhum dano, uma vez que o aumento é compensado pelo desvanecimento do canal. Porém, para as células vizinhas, esse aumento de potência significa uma interferência adicional.

Os processos de *handover* - *soft* ou *hard* – proporcionam ganho contra o desvanecimento por difração, pois reduzem a margem de desvanecimento necessária. Devido o desvanecimento lento ser parcialmente correlacionado entre as células e fazendo *handover*, o móvel pode selecionar o melhor enlace de comunicação. Além disso, o *soft handover* (macro-diversidade) dá um ganho adicional contra o desvanecimento rápido, reduzindo a E_b/N_0 necessária em relação a um único enlace de rádio. O ganho depende da velocidade do móvel, do algoritmo de combinação de diversidade usado no receptor e do perfil de atraso do canal.

Em comparação com a equação de carga do enlace de subida, o mais importante é o novo parâmetro α , que representa o fator de ortogonalidade no enlace de descida. O WCDMA utiliza códigos ortogonais no enlace de descida para separar os usuários. No entanto, se houver atraso suficiente na propagação a estação móvel vai ver parte do sinal da estação rádio

base como sinal de interferência de múltiplo acesso. A ortogonalidade igual a 1 corresponde a uma ortogonalidade perfeita entre os usuários. Tipicamente, o fator de ortogonalidade está entre 0,4 e 0,9 (Holma e Toskala, 2004).

Uma vez que no WCDMA, todos os usuários estão compartilhando os mesmos recursos de interferência, não é possível analisar cada um de forma independente. Cada usuário tem influência sobre os outros à medida que causam alterações na sua potência de transmissão. Portanto, todo o processo deve ser feito de forma iterativa antes que a potência de transmissão seja estabilizada. A figura 2.8 representa o processo que deve ser seguido.

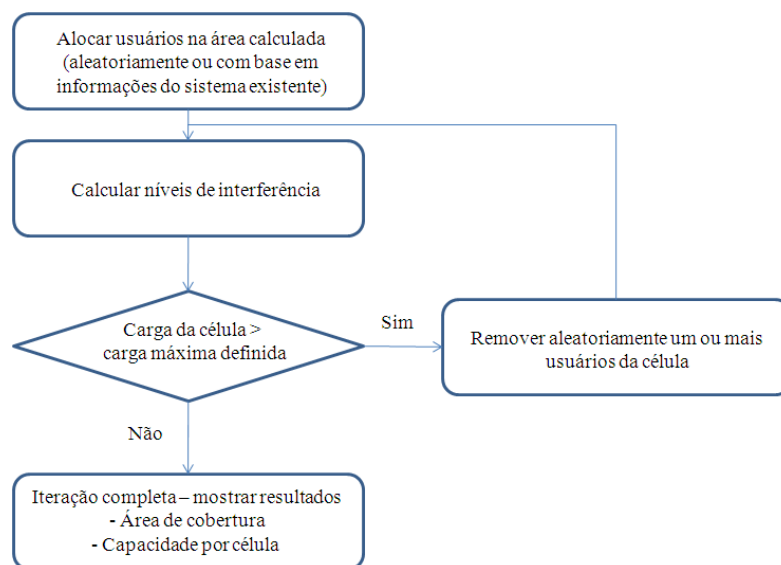


Figura 2.8: Iterações de cálculo de capacidade e cobertura

A principal diferença entre a predição de cobertura do WCDMA e TDMA / FDMA é que a estimativa de interferência é crucial para o WCDMA. No processo de planejamento de cobertura no GSM a sensibilidade da estação rádio base é assumida constante e o limiar de cobertura é o mesmo para toda estação rádio base. No caso do WCDMA a sensibilidade da estação rádio base depende do número de usuários e da taxa de bit em toda a célula.

2.4.5 Estimativa da sensibilidade do receptor

No cálculo de enlace o nível de ruído no receptor da estação rádio base em uma portadora WCDMA é calculado. A relação sinal-ruído requerida no receptor contém o ganho de processamento e a perda devido à carga. A carga utilizada é a carga total, devido os diferentes serviços na portadora em questão. A potência do sinal exigido, S , depende do requisito de relação sinal-ruído, figura de ruído do receptor e largura de faixa:

$$S = SNR \cdot N_0 \cdot W \quad (2.18)$$

onde

$$SNR = \rho \cdot \frac{R}{W \cdot (1 - \eta)} \quad (2.19)$$

N_0W é o ruído, R é a taxa de bits do serviço utilizado; ρ é E_b/N_0 requerida; W é a taxa de *chip* do WCDMA e η é a carga da célula. Em alguns casos o nível de ruído interferente é corrigido através da aplicação de um termo que representa o ruído gerado pelo homem.

2.4.6 Margem de Sombreamento e Estimativa de Ganho de *Soft Handover*

O próximo passo é estimar o número máximo de células e a área de cobertura em diferentes ambientes e regiões. No cálculo do enlace a máxima perda de trajeto permitida é calculada e a partir desse valor uma margem de desvanecimento lento, relacionado à probabilidade de cobertura, tem de ser subtraída. Ao avaliar a probabilidade de cobertura, o expoente do modelo de propagação que define a atenuação com a distância e o desvio padrão do desvanecimento log-normal devem ser definidos. Para o caso *indoor*, os valores típicos para as perdas internas variam de 15 a 20 dB e o desvio-padrão para a margem de desvanecimento log-normal é da ordem de 10 a 12 dB. Para ambientes externos os valores típicos de desvio-padrão variam de 6 a 8 dB, com as constantes de propagação entre 2,5 e 4. Tradicionalmente, a probabilidade de cobertura utilizada no cálculo de enlace é para o caso de uma única célula (Laiho, Wacker, Aikio, 2000).

Dependendo da constante de propagação e do desvio padrão do desvanecimento log-normal, para uma probabilidade de cobertura entre 90 a 95%, a margem de desvanecimento situa-se entre 7 a 8 dB. No caso de células com geometria circular e supondo que o desvanecimento de grande escala seja log-normal, a probabilidade de cobertura para o caso de uma única célula é calculada através de (Laiho, Wacker e Novosad, 2006):

$$F_u = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \operatorname{erf}(a) + \exp\left(\frac{1 - 2 \cdot a \cdot b}{b^2}\right) \cdot \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1 - a \cdot b}{b}\right) \right] \right\} \quad (2.20)$$

onde

$$a = \frac{x_0 - P_r}{\sigma \cdot \sqrt{2}} \quad (2.21)$$

e

$$b = \frac{10 \cdot n \cdot \log_{10} e}{\sigma \cdot \sqrt{2}} \quad (2.22)$$

onde P_r é o sinal recebido na borda da célula; n uma constante de propagação correspondente à variação da atenuação com a distância; x_0 é o limiar da potência média; σ é o desvio padrão da intensidade do campo e erf é a função erro definida por,

$$erf(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (2.23)$$

Nas redes celulares WCDMA reais, as áreas de cobertura das células se sobrepõem e os usuários são capazes de se conectar a mais de uma célula. Se mais de uma célula pode ser detectada, a probabilidade de localização aumenta e é maior do que por uma única célula isolada.

Esse número indica que o conceito da probabilidade de localização multi-servidor deve ser cuidadosamente considerado. Na realidade, os sinais de duas estações rádio base não são completamente não correlacionados, e assim o ganho de *soft handover* é ligeiramente menor do que o estimado. O conceito de multi-servidor com sinais correlacionados é introduzido a seguir:

$$P_{out} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \cdot \left[Q\left(\frac{\gamma_{SHO} - a \cdot \sigma \cdot x}{b \cdot \sigma} \right) \right]^2 \cdot dx \quad (2.24)$$

onde P_{out} é o fator de interrupção na borda da célula; SHO é a margem de desvanecimento com soft handover; σ é o desvio padrão da intensidade do campo e para a correlação de 50% do desvanecimento log-normal entre os móveis e duas estações rádio base $a=b=1/2^{1/2}$. Essa probabilidade na borda da célula pode ser convertida para a probabilidade de área. No cálculo de enlace do WCDMA, o ganho de *soft handover* é necessário. O ganho consiste de duas partes: ganho combinando contra desvanecimento rápido e ganho contra desvanecimento lento. Este último é dominante e é especificado como,

$$G = \gamma_{single} - \gamma_{SHO} \quad (2.25)$$

Assumindo uma probabilidade de 95% de área, um expoente de perda de propagação $n = 3,5$ e um desvio padrão do desvanecimento lento, de 7 dB, o ganho será 7,3 dB - 4dB = 3,3 dB. Se o desvio padrão e a exigência de maior probabilidade são maiores então o ganho será maior. A tabela 2.2 lista um exemplo de cálculo de enlace para os enlaces de subida e de descida (Laiho, Wacker e Novosad, 2006). Nesta tabela as letras de a até t são utilizadas como notação para representar variáveis na descrição das fórmulas utilizadas no cálculo de enlace descrito.

Parâmetros	Enlace de subida	Enlace de descida	Unidade
Potência de Transmissão	125.00 a	1372.97	mW
	20.97 b = $10\log(a)$	31.38	dBm
Ganho da Antena de transmissão	0.00 c	18	dB
Perda no cabos	2.00 d	2	dB
EIRP	18.97 e = b+c-d	47.38	dBm
Densidade de Ruído Térmico	-174.00 f	-174.00	dBm/Hz
Figura de Ruído do Receptor	5.00 g	8.00	dB
Densidade de Ruído no Receptor	-169.00 h = f+g	-166.00	dBm/Hz
Potência de Ruído no Receptor	-103.13 I = $10\log(W)+h$	-100.13	dBm
Margem de Interferência	-3.01 j	-10.09	dB
Ec/Io Requerida	-17.12 k = $10\log[Eb/N0(W/R)]-j$	-7.71	dB
Potência de Sinal Requerida [S]	-120.25 l = j+k	-107.84	dBm
Ganho da Antena de recepção	18.00 m	0.00	dB
Perda nos cabos	2.00 n	2.00	dB
Probabilidade de Cobertura em ambiente externo (calculada)	95.00	95.00	%
Probabilidade de Cobertura em ambiente externo (requerida)	0.00	0.00	%
Probabilidade de Localização em ambiente externo (calculada)	85.62	85.62	%
Probabilidade de Localização em ambiente interno (calculada)	32.33	32.33	%
Ambiente Limitante	Outdoor	Outdoor	
Constante de desvanecimento lento, ambiente externo	7.00	7.00	dB
Constante de desvanecimento lento, ambiente interno	12.00	12.00	dB
Expoente do Modelo de Propagação	3.50	3.50	
Margem de Desvanecimento Lento	-7.27 o	-7.27	dB
Ganho de handover	0.00 p	2.00	dB
Margem de Desvanecimento Lento + Ganho de handover	-7.27 q = o+p	-5.27	dB
Perda em ambiente interno	0.00 r	0.00	dB
Margem de desvanecimento rápido	0.00 s	0.00	dB
Perda de Propagação Permitida	147.96 t = e-l+m-n+q+r-s	147.96	dB

Tabela 2.2: Exemplo de cálculo de enlace

2.4.7 Raio da célula e estimativa da Área de Cobertura

Uma vez que a perda máxima de propagação em uma célula é conhecida, o passo seguinte é escolher o modelo de propagação para a estimativa do raio da célula. O modelo de propagação deve ser escolhido de modo que descreva otimamente as condições de propagação

na área em estudo. As restrições do modelo são relacionadas com a distância em relação à estação rádio base, altura efetiva da antena da estação rádio base, a altura da antena da estação móvel e a frequência da portadora. Depois de escolher o intervalo entre células, a área de cobertura pode ser calculada. A área de cobertura para uma célula na configuração hexagonal pode ser estimada através de:

$$S = K \cdot r^2 \quad (2.26)$$

onde S é a área de cobertura, r é o raio máximo da célula, e K é uma constante. Até seis setores são razoáveis para o WCDMA, mas com seis setores a estimativa da área de cobertura torna-se problemática. Isto porque, uma estação com seis setores não necessariamente se assemelha a um hexágono. A proposta de cálculo da área da célula nesta fase é o equacionamento supondo que a mesma seja omnidirecional. Os resultados obtidos são estendidos para o caso de seis setores. Quanto maior o ganho da antena maior a área. Quanto mais setores são utilizados, a sobrecarga de *soft handover* deve ser analisada com mais cautela para obter uma estimativa mais precisa. Na tabela 2.3 estão listados alguns valores de K .

Configuração da estação:	Omni	2 setores	3 setores	6 setores
Valor de K :	2,6	1,3	1,95	2,6

Tabela 2.3: Valores de K

3 GESTÃO DE RECURSOS RÁDIO

Este Capítulo trata de dois problemas de grande relevância na análise de questões relativas à interferência entre sistemas WCDMA: a) Controle de potência; b) Controle de *handover*. Adicionalmente, uma vez que está intimamente relacionado a estes itens, faz-se também menção ao controle de congestionamento nas células com base no conceito de carga na interface aérea e também ao gerenciamento de recursos. Adicionalmente cumpre informar que a definição dos canais existentes no WCDMA e citados ao longo deste trabalho, pode ser encontrada no Anexo 1 deste texto. Cumpre observar que, a nomenclatura não usual utilizada em algumas fórmulas das Seções 3.2, 3.3 e 3.4 segue o padrão utilizado no *software* NPSW utilizado nas simulações desta Dissertação (ver Capítulo 4).

3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A expressão Utilização de Recursos Rádio (URR) abrange todas as funcionalidades para a manipulação dos recursos de interface aérea da rede de acesso rádio (RAN – *Radio Access Network*). Em conjunto, estas funções são responsáveis por fornecer uma cobertura adequada, a capacidade máxima planejada e garantir a qualidade de serviço necessária e eficiência de utilização dos recursos físicos e de transporte.

A função de gestão de recursos rádio (RRM - *Radio Resource Management*) consiste no controle de potência (*Power Control* - PC), controle de *handover* (*Handover Control* - HC), controle de congestionamento, o qual é normalmente subdividido em controle de admissão (AC - *Admission Control*), controle de carga (LC - *Load Control*) e gerenciador de pacotes de dados (PS - *Packet Scheduler*) e o gerenciador de recursos (RM - *Resource Management*).

Uma vez que diversos usuários em um sistema WCDMA operam na mesma frequência, a interferência é um item crucial e o PC é responsável por ajustar a potência de transmissão no enlace de subida e de descida para um nível mínimo necessário a fim de garantir a qualidade de serviço exigida. O HC cuida para que um usuário conectado a partir de uma célula tenha sua conexão transferida para outra célula, enquanto se move através da área de cobertura.

Os controles de admissão e carga juntamente com o controle de potência garantem que a rede fique dentro da condição prevista. O AC permite aos usuários configurar ou reconfigurar os suportes de acesso rádio (*RAB - Radio Access Bearer*) somente se estes não sobrecarregarem o sistema e se os recursos necessários estiverem disponíveis. O LC cuida para que um sistema temporariamente com sobrecarga retorne à situação normal. A principal tarefa do PS é lidar com o tráfego que não age em tempo real (*NRT - Non Real Time*), ou seja, atribuir a melhor taxa de bit e agendar a transmissão dos pacotes, mantendo-se a qualidade de serviço exigida em termos de taxa e atraso.

O gerenciamento de recursos é encarregado de controlar física e logicamente os recursos de rádio em um RNC. Suas principais tarefas são coordenar a utilização dos recursos de *hardware* disponíveis e gerenciar a árvore de código. No WCDMA Release 99 a maioria das funcionalidades está no RNC (Laiho, Wacker e Novosad, 2006). Apenas parte do PC, LC e RM também podem ser encontrados na estação rádio base (ERB) e, na estação móvel (EM), somente a funcionalidade de PC é incluída conforme mostra a figura 3.1. No Release 5, onde a gestão de recursos rádio envolve a transmissão HSDPA, grande parte das funções de AC, LC e PS foram incluídos na ERB por razões de velocidade e desempenho (Laiho, Wacker e Novosad, 2006).

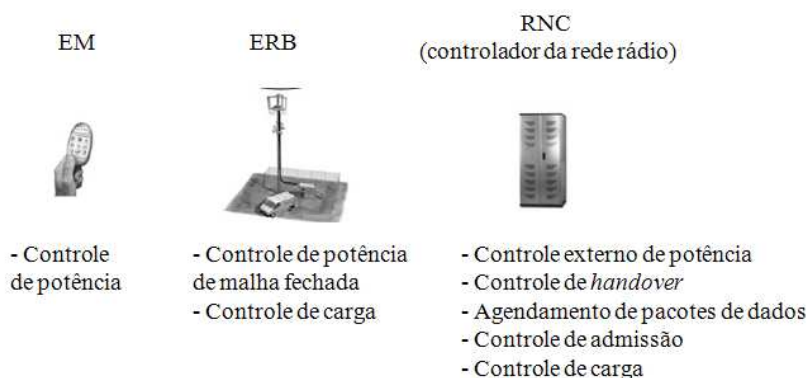


Figura 3.1: Distribuição das funções de gestão dos recursos radio no WCDMA Release 99

3.2 CONTROLE DE POTÊNCIA

Nos sistemas 3G, onde todos os usuários compartilham uma frequência comum, o controle de interferência é um ponto crítico que deve ser analisado. Isto é especialmente importante para a direção de enlace de subida, já que uma estação móvel, localizada perto da estação rádio base e transmitindo com potência excessiva, pode facilmente encobrir o sinal de outros que estão na borda da célula (efeito perto-longe) ou mesmo bloquear a célula por completo. Diante disso, o PC talvez seja uma das mais importantes características do WCDMA. A figura 3.2 exemplifica o controle de potência com malha fechada que será vista em maior detalhe na Seção 3.2.2.

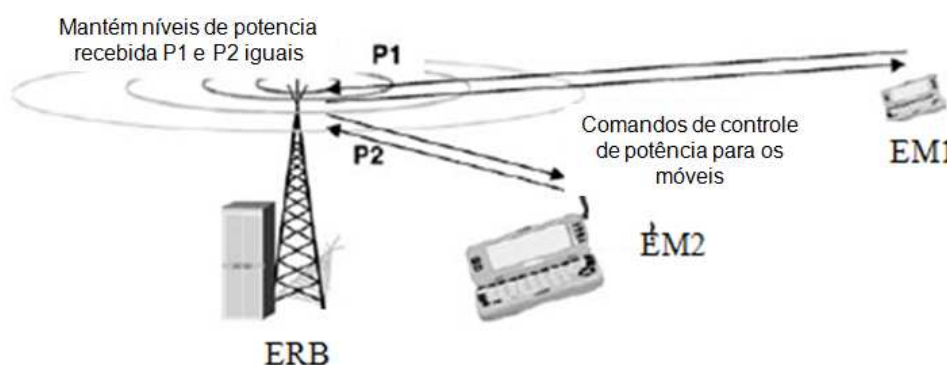


Figura 3.2: Controle de potência de malha fechada

As estações móveis EM1 e EM 2 operam na mesma frequência e estão separadas na estação rádio base apenas pelos respectivos códigos de espalhamento. Como exemplo, a EM1 localizada na borda da célula sofre uma perda de percurso de 70 dB a mais que a EM2 que está perto da estação rádio base. Se não houver nenhum mecanismo para fazer com que, através de uma redução de potência, os níveis de sinais recebidos da EM1 e da EM2 tenham o mesmo nível na estação rádio base, a EM2 poderia facilmente sobrepor a EM1 e, assim, bloquear uma grande parte da célula, dando origem à interferência perto-longe do CDMA (Holma e Toskala, 2004). A estratégia no sentido de maximizar a capacidade é equilibrar a potência por *bit* recebido para todos os móveis a todo instante. No enlace de descida, determina-se a capacidade do sistema pela quantidade de código requerida para cada conexão. Portanto, é essencial manter a potência de transmissão, com um nível mínimo, enquanto garante a qualidade de sinal adequada no receptor. No WCDMA criou-se um grupo de funções para esse fim que consistem em: controle de potência de malha aberta (*open-loop PC*) e controle de potência de malha fechada (*closed-loop PC*).

3.2.1 Controle de potência de malha aberta

O controle de potência de malha aberta faz uma estimativa da potência de transmissão inicial necessária no enlace de subida e de descida baseada na perda de propagação observada no enlace de descida. No entanto, esse método é muito impreciso e a principal razão para isso é que não há uma correlação do desvanecimento rápido entre os enlaces de subida e descida devido à grande separação de frequência entre as duas direções nas faixas do WCDMA/FDD. Utiliza-se o controle de potência de malha aberta apenas para fornecer uma potência inicial para a estação móvel no início de uma conexão.

3.2.1.1 Controle de potência de malha aberta do enlace de subida

A função de controle de potência de malha aberta no enlace de subida é exercida tanto pela EM quanto pela ERB e pelo RNC. Esse controle requer a difusão de alguns parâmetros de controle na célula e que a EM realize a medição da potência do código do sinal recebido (RSCP – *Received Signal Code Power*) no canal piloto primário comum (P-CPICH). Com base no cálculo do controle de potência de malha aberta, a EM define a potência inicial para o primeiro canal físico de acesso aleatório (PRACH) e para o canal de controle físico dedicado no enlace de subida (DPCCH) antes que se inicie o controle de potência de malha fechada. Durante o procedimento de acesso aleatório, a EM define a potência do primeiro preâmbulo transmitido, ou seja, a parte inicial do código do sinal como,

$$Preamble_Initial\ power = CPICH_Tx_power - CPICH_RSCP + UL_interference + UL_required_CI \quad (3.1)$$

onde a potência de transmissão do P-CPICH ($CPICH_Tx_power$), a potência do código do sinal recebido no P-CPICH ($CPICH_RSCP$) e a C/I requerida no enlace de subida ($UL_required_CI$) são definidas durante o planejamento da rede de rádio. Nesse procedimento ocorre a transmissão do parâmetro $UL_interference$ que reflete a potência total no receptor da ERB, medido no canal de *broadcast* (BCH) da ERB. O mesmo procedimento é seguido pela estação móvel quando está fixando o nível de potência do primeiro canal de dados físico comum (PCPCH). Ao estabelecer o primeiro DPCCH, a estação móvel inicia o controle de potência de malha fechada no enlace de subida em um nível de potência de acordo com a equação a seguir,

$$DPCCH_Initial_power = DPCCH_Power_offset - CPICH_RSCP \quad (3.2)$$

onde a potência do sinal do código recebido do P-CPICH ($CPICH_RSCP$), é medida pela EM e, o RNC, através do AC, calcula o $DPCCH_Power_offset$ e o fornece à EM. Esse processo ocorre, por exemplo, na configuração da conexão RRC, na reconfiguração de um RAB ou do canal físico de acordo com o cálculo a seguir,

$$DPCCH_Power_offset = CPICH_Tx_power + UL_interference + SIR_{DPCCH} - 10 \cdot \log_{10}(SF_{DPCCH}) \quad (3.3)$$

onde SIR_{DPCCH} é a SIR alvo inicial produzida pelo AC para a conexão em particular e SF_{DPCCH} é o fator de espalhamento do DPCCH correspondente.

3.2.1.2 Controle de potência de malha aberta no enlace de descida

No enlace de descida, o controle de potência de malha aberta define a potência inicial dos canais deste enlace com base nas medições da estação móvel. Um algoritmo para calcular o valor da potência inicial do DPDCH, quando o primeiro enlace de rádio é criado, pode ser observado na equação abaixo:

$$P_{Tx_inicial} = R \cdot \frac{(E_b / N_0)_{DL}}{W} \cdot \left(\frac{CPICH_Tx_power}{(E_c / N_0)_{CPICH}} - \alpha \cdot PtxTotal \right) \quad (3.4)$$

onde R é a taxa de bits do usuário, E_b/N_0 é o valor da E_b/N_0 planejada para cada serviço, W é a taxa de chip; $(E_c/N_0)_{CPICH}$ é reportado pela estação móvel; α é o fator de ortogonalidade do enlace de descida e $PtxTotal$ é a potência da portadora medida na ERB e comunicada ao RNC.

3.2.2 Controle de potência de malha fechada

A solução para o PC no WCDMA é o controle de potência de malha fechada. Nesse processo, para o enlace de subida, a estação rádio base executa estimativas freqüentes da relação sinal-ruído (SIR) e compara com uma meta SIR. Se a medida for superior à meta, a estação rádio base envia um comando para o móvel para diminuir a potência e, se estiver abaixo, envia comando para a estação móvel para aumentar a sua potência. Este ciclo que

inclui medição, envio de comando e ação é executado a uma taxa de 1500 vezes por segundo (1,5 kHz) para cada estação móvel e, portanto, opera mais rápido do que qualquer mudança significativa que possa ocorrer na perda por propagação. Em verdade, é mais rápido do que a velocidade de desvanecimento Rayleigh que é observado quando a EM está em baixa velocidade. Assim, previne-se qualquer desbalanceamento de potência dos sinais recebidos na estação rádio base.

O mesmo controle é usado para o enlace de descida, embora neste caso a motivação seja diferente. No enlace de descida não há o problema do perto-longe devido a um cenário um-para-muitos (*one-to-many*). Todos os sinais dentro de uma célula são originados da estação rádio base para todos móveis. No entanto, é desejável prever uma margem de potência adicional para os móveis na borda da célula, pois eles sofrem interferência de outras células.

A figura 3.3 mostra como o controle de potência de malha fechada trabalha em um canal em baixa velocidade com desvanecimento. A EM recebe comandos para usar uma potência de transmissão proporcional ao inverso do sinal recebido. Desde que a estação móvel tenha margem suficiente para aumentar a potência, permanece um desvanecimento residual, mas o canal torna-se essencialmente um canal sem desvanecimento visto do ponto de vista da recepção da estação rádio base.

Embora esta remoção significativa do desvanecimento seja altamente desejável do ponto de vista do receptor, isso é conseguido à custa de um aumento da potência de transmissão. Isto significa que uma estação móvel em um ponto de desvanecimento profundo, ou seja, utilizando uma grande potência de transmissão, pode causar aumento de interferência em outras células.

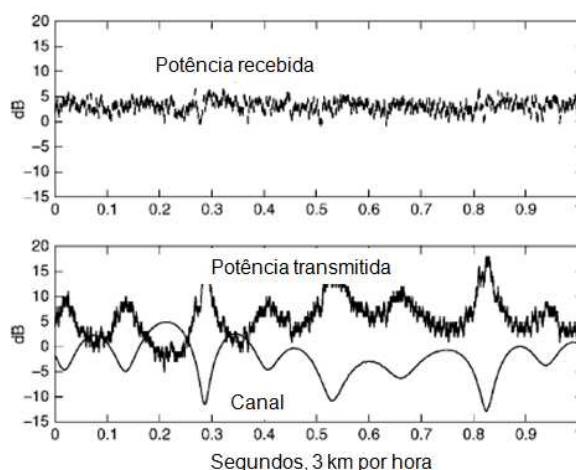


Figura 3.3: Compensação de desvanecimento pelo controle de potência de malha fechada

O controle de potência de malha fechada depende da informação de retorno da camada que está no mesmo nível do lado oposto do enlace de rádio. Isto permite que a estação móvel e a estação rádio base ajustem sua potência de transmissão com base no nível da SIR recebida na ERB e na EM para a compensação do desvanecimento do canal de rádio. O controle de potência de malha fechada é usado para os canais dedicados (DCH) em ambas as direções e para o canal de pacotes comum (CPCH) somente no enlace de subida.

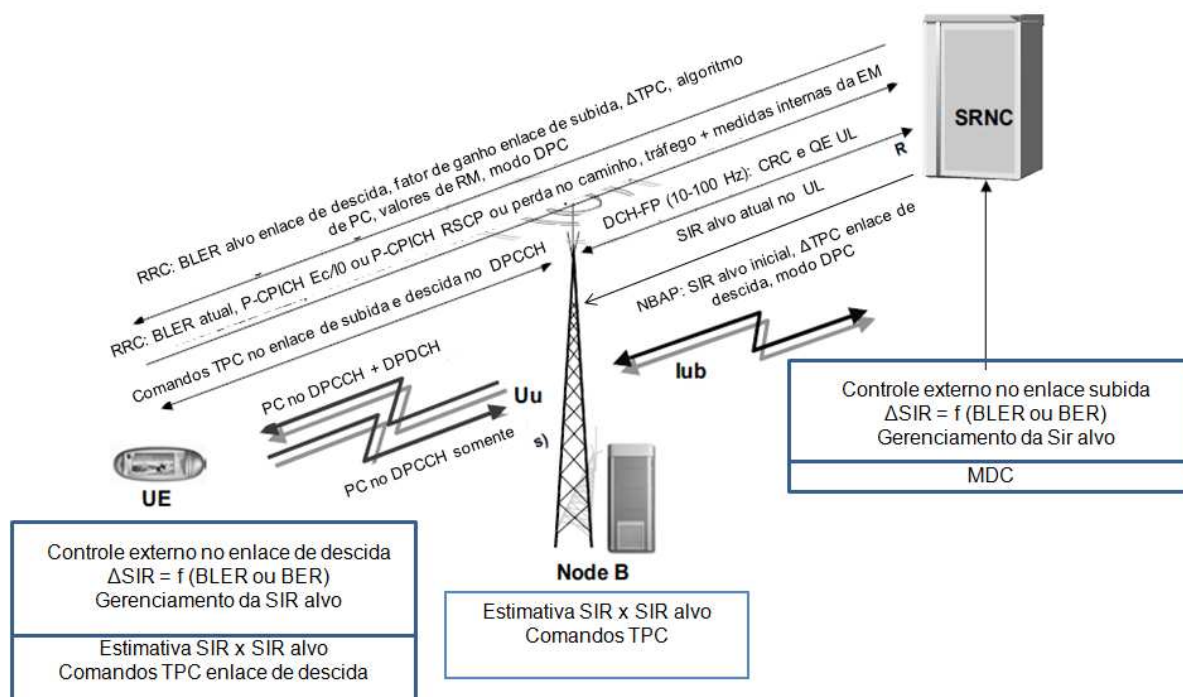


Figura 3.4: Controle de potência de malha fechada / Controle externo no enlace de subida e de descida

Associado ao controle de malha fechada existe também um controle externo que ajusta a SIR alvo na estação rádio base de acordo com a necessidade de um enlace de rádio individual e mantém um nível de qualidade constante definindo um alvo para a BER ou para a BLER. O ajuste da SIR é necessário porque o valor alvo da BLER depende da velocidade do móvel e do perfil de multi-percurso. A estratégia é deixar a SIR alvo flutuar em torno de um valor mínimo estabelecido.

O indicador de qualidade do quadro indica para o RNC que a qualidade da transmissão está decaindo e este dá um comando para estação rádio base aumentar a SIR alvo em determinada quantidade. Essa função está no RNC, pois deve ser executada após um possível *soft handover*.

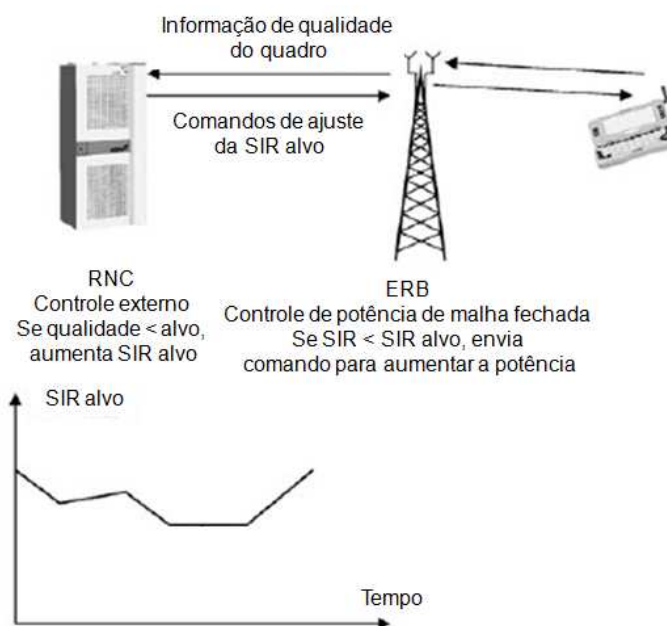


Figura 3.5: Controle externo

O objetivo do algoritmo do controle externo é manter a qualidade da comunicação no nível definido pelos requisitos de qualidade de serviço, para o serviço em questão, produzindo uma SIR alvo adequada para o controle de potência de malha fechada. Esta operação é feita para cada DCH pertencente à mesma conexão de controle de RRC. A SIR alvo deve ser ajustada quando a velocidade da estação móvel ou as condições de propagação forem alteradas. Quanto maior for a variação da potência recebida, maior deve ser o valor da SIR alvo. Se um valor fixo de SIR alvo for selecionado a qualidade da comunicação será muito baixa ou muito alta, provocando um aumento de potência desnecessário na maioria das situações. A frequência do controle externo varia normalmente de 10-100 Hz. O mesmo pode ser observado, para um único enlace, na figura 3.4.

No enlace de subida, esse controle é responsável pela fixação de uma SIR alvo na ERB para cada controle de potência de malha fechada. A SIR alvo é, em seguida, atualizada em uma base individual para cada estação móvel de acordo com a qualidade estimada do enlace de subida, por exemplo, BLER ou BER, para essa conexão RRC particular. Utiliza-se um algoritmo baseado em uma verificação de CRC do fluxo de dados como medida de qualidade. Se o CRC está correto, a SIR alvo é reduzida por um determinado valor, caso contrário, será aumentada. Os valores típicos para o passo no ajuste da SIR são da ordem de 0,1 a 1,0 dB.

No enlace de descida o controle externo é implementado na estação móvel. Este

controle ajusta o valor da SIR alvo para o controle de potência de malha fechada usando um algoritmo proprietário que fornece a mesma qualidade medida (BLER) como a meta de qualidade estabelecida pelo RNC. O valor da meta de qualidade do controle externo do enlace de descida, na estação móvel, é controlado pelo AC no RNC, que determina o valor da meta de BLER no enlace de descida para cada DCH mapeado no CCTrCH. O alvo da BLER no enlace de descida para cada TrCH é então recebido pela estação móvel em mensagens RRC.

3.2.2.1 Controle de potência de malha fechada no enlace de subida

O controle de potência de malha fechada no enlace de subida é usado para definir a potência do DPCH no enlace de subida e do PCPCH. A ERB recebe a SIR alvo do controle externo situado no RNC e compara com a SIR estimada no símbolo piloto do DPCCH uma vez a cada janela. Se a SIR recebida é maior do que a SIR alvo, a ERB envia um comando para a EM diminuir a potência do DPCCH do enlace de descida. Se a SIR recebida está abaixo da meta, envia um comando para aumentar.

Para uma determinada meta de qualidade, o melhor passo do PC é o que resulta em uma SIR alvo menor. Com uma taxa de atualização de 1,5 kHz, um PC com passo igual a 1 dB conduz um típico canal com desvanecimento Rayleigh até uma frequência de *Doppler* de cerca de 55 Hz (30km/h). Em velocidades mais altas, até cerca de 80 km/h, um passo com tamanho de 2 dB dá melhores resultados. Para velocidades da EM superiores a 80 km/h, o controle de potência de malha fechada não acompanha mais o desvanecimento (Backer e Mousley, 2000).

Especificou-se dois algoritmos alternativos para a EM interpretar os comandos de PC enviados pela ERB (3GPP TS 25.214, 2005). O algoritmo 1 é usado quando a velocidade da EM é suficientemente baixa para compensar o desvanecimento do canal. O passo do PC é definido durante o planejamento da rede rádio e pode ter um valor de 1 ou 2 dB.

O algoritmo 2 pode ser usado para compensar a tendência do desvanecimento lento no canal de propagação ao invés de rápidas flutuações. Este possui um desempenho melhor que o algoritmo 1 quando a EM se move com velocidade maior que 80 km/h ou menor que 3 km/h. No algoritmo 2 o passo é fixado em 1 dB.

Quando a estação móvel está em *softer handover*, a célula servidora sinaliza que os comandos que ela recebe são provenientes do mesmo enlace de rádio e que devem ser

combinados em um único comando de acordo com o algoritmo 1 ou 2. Se a estação móvel está em *soft handover* este comando é então combinado com os comandos vindos de outros enlaces de rádio de diferentes conjuntos definidos como ilustrado na figura 3.6.

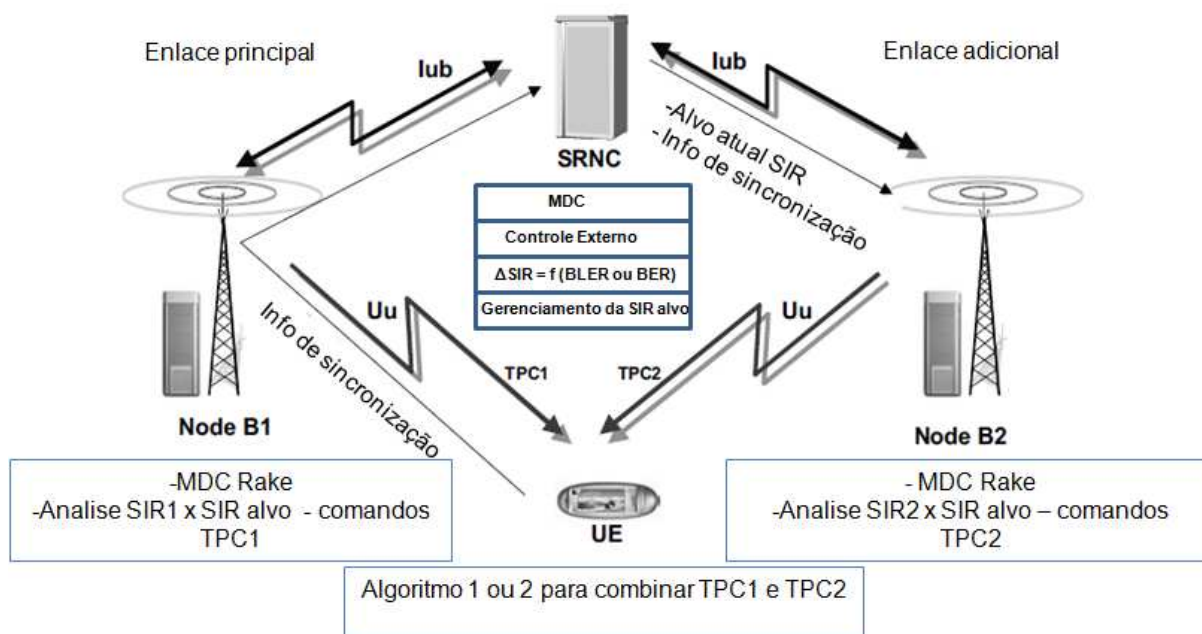


Figura 3.6: Controle de potência de malha fechada durante o *handover*

Durante a comunicação, após a aplicação de ajustes de potência e fatores de ganho do DPCH, a EM não pode exceder o valor máximo de potência de transmissão definida durante o planejamento da rede rádio. Além disso, quando transmitindo em um DPCH, é exigido que a EM deva ser capaz de reduzir a sua potência de transmissão, pelo menos, para -50dBm. Supondo uma potência máxima de transmissão da EM de 21 dBm (250mW), isto resulta em uma gama de valores dinâmica de cerca de 70 dB.

3.2.2.2 Controle de potência de malha fechada no enlace de descida

O controle de potência de malha fechada no enlace de descida seleciona a potência do DPCH. A EM recebe de camadas superiores a taxa de erro de bloco (*Block Error Rate - BLER*), fixada pelo RNC para o controle externo, juntamente com outros parâmetros de controle e, então, estima a SIR para o enlace de descida através dos símbolos piloto do DPCH. Essa estimativa de SIR é comparada com uma SIR alvo. Se a estimativa é maior do que a meta, a EM transmite o comando para a ERB diminuir a potência, caso contrário, a ERB transmite o comando para aumentar. Os comandos de PC são enviados no DPCH do

enlace de subida e, simultaneamente, controlam a potência de um DPCCH e de seus DPDCH correspondentes no enlace de descida pela mesma quantidade.

No *soft handover* a potência de transmissão da EM é reduzida se a qualidade da sinalização do PC é melhorada definindo-se uma potência maior para o DPCCH do que para o DPDCH no enlace de descida.

Nesse caso, o passo do PC varia entre 0,5, 1, 1,5 ou 2 dB. O único valor obrigatório do passo para a ERB é o correspondente a 1 dB, os demais são opcionais (3GPP TS 25.214, 2005). No entanto, se uma EM está em *soft handover*, todas as células com as quais a EM está conectada devem usar o mesmo passo para evitar derivação de potência. Em caso de congestionamento, a ERB pode ser comandada pelo RNC para ignorar os comandos de aumento da EM.

O controle de potência de malha fechada nos DPCH do enlace de descida, durante o *softer handover*, age da mesma forma como no caso de enlace de rádio único. Apenas um DPCCH é transmitido no enlace de subida e a sinalização e parte dos dados dos sinais recebidos de diferentes antenas são combinadas no nível do símbolo na ERB. No enlace de descida a ERB simultaneamente controla a potência do conjunto dos enlaces de rádio e divide o fluxo de dados recebidos do DCH-FP para todas as células que participam do *softer handover*.

3.3 CONTROLE DE HANDOVER

O HC do UTRAN suporta diferentes tipos de *handover* e procedimentos de *handover*. O HC pode ser dividido nos seguintes tipos:

- *Handover* dentro do mesmo sistema (*intra-system handover*) - ocorre dentro de um sistema WCDMA. Pode ser subdividido em:
 - *Handover* utilizando a mesma frequência (*intra-frequency handover*) - entre as células pertencentes à mesma portadora WCDMA;
 - *Handover* entre frequências (*inter-frequency handover* - *IF-HO*) - entre as células de portadoras diferentes de uma mesma operadora WCDMA.
- *Handover* entre sistemas (*inter-system handover* - *IS-HO*) entre as células pertencentes a duas redes de acesso de tecnologias diferentes (RAT) ou entre duas redes de acesso de

modos diferentes (RAM). O caso mais freqüente para o primeiro tipo é esperado entre sistemas WCDMA e GSM/EDGE. Por outro lado, o IS-HO com outros sistemas como CDMA (por exemplo, cdmaOne) também é possível. Um exemplo de IS-HO correspondente ao *handover* entre os modos UTRA FDD (*Frequency Division Duplex*) e UTRA TDD (*Time Division Duplex*).

Além disso, os seguintes procedimentos de *handover* podem ser identificados:

- *Soft Handover* (SHO) e *softer handover* – figuras 3.7 e 3.8 - são categorias de processos de *handover* em que a EM mantém sempre pelo menos um enlace de rádio com a UTRAN. Durante o *soft handover* a EM está sendo controlada simultaneamente por duas ou mais células pertencentes a diferentes ERB do mesmo RNC ou RNC diferentes. No *softer handover* a EM é controlada por pelo menos duas células em uma ERB. Obviamente, *soft* e *softer handover* são apenas possíveis dentro de uma única portadora;

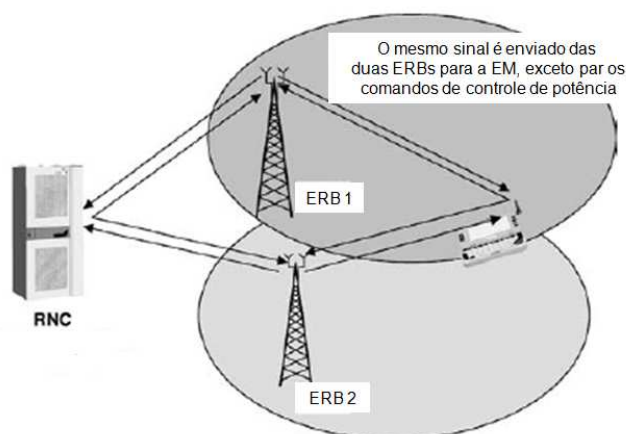


Figura 3.7: *Soft handover*

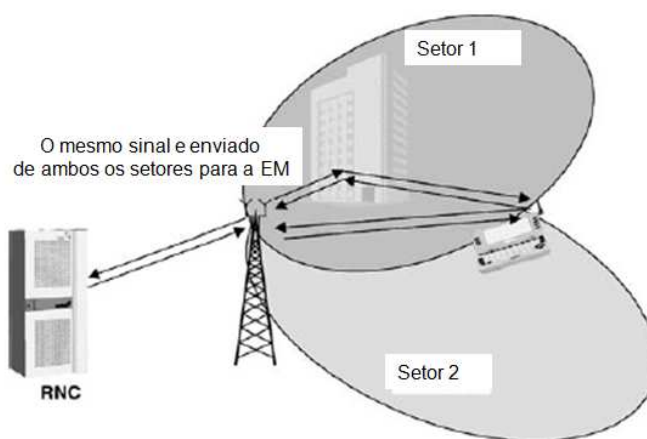


Figura 3.8: *Softer handover*

- *Hard Handover* (HHO) – é uma categoria de procedimentos de *handover* em que todos os braços do receptor Rake da estação móvel são liberados antes da nova conexão ser estabelecida. Para suportes de acesso rádio de tráfego em tempo real (RT) significa a descontinuidade dos mesmos. No entanto, para os suportes de acesso rádio de tráfego em tempo não real (NRT) esse processo ocorre sem perdas;

3.3.1 *Handover* no mesmo Sistema (*Intra-system*)

3.3.1.1 Processo de *Soft/Softer Handover* (*Intra-frequency Soft/Softer Handover*)

O *soft handover* é uma característica de sistemas CDMA na qual as células vizinhas operam na mesma frequência. Quando em modo “conectado”, a EM monitora continuamente a célula servidora e as células vizinhas (células indicadas pelo RNC) que operam na mesma portadora. A EM compara os resultados da medição com os limiares de *handover* fornecidos pelo RNC e envia um relatório de medição para o RNC. O algoritmo de decisão de *soft handover*, no entanto, está localizado no RNC que, baseado nos relatórios de medição recebidos da EM (periódico ou desencadeado por certos eventos), ordena à EM para adicionar ou remover células do seu conjunto ativo (*active set*). O HC da UTRAN suporta todos os tipos de *soft handover* descritos, tanto para o RAB RT como para o RAB NRT.

Dependendo da participação no *soft handover*, as células em um sistema WCDMA são divididas nos seguintes conjuntos:

- Conjunto Ativo (*Active set*) - inclui todas as células que participam de uma conexão de *soft handover* de uma determinada estação móvel;
- Conjunto de células vizinhas/monitoradas (*Neighbour Set/Monitored Set*) - este conjunto inclui todas as células a serem continuamente monitoradas pela EM e que não são incluídas no conjunto ativo;
- Conjunto detectado (*Detected Set*) - esse conjunto inclui as células que foram detectadas pela EM, mas que não estão no conjunto ativo, e não estão sendo monitoradas.

Os principais objetivos do *soft/softer handover* são os seguintes:

- controle rápido de potência de malha fechada ótimo, pois a EM está sempre ligada às células de sinal mais forte;

- *handover* sem desconexão do RAB;
- permitir um nível suficiente na recepção com objetivo de manter a comunicação através da combinação dos sinais recebidos (macro-diversidade), para os símbolos de várias células nos casos em que a EM se move para áreas de fronteira da célula, e não é possível obter um nível de recepção suficiente de uma única célula;
- além disso, o ganho de macro-diversidade obtido pela combinação do sinal recebido na ERB (*softer handover*) ou no RNC (*soft handover*) melhora a qualidade do sinal de enlace de subida e assim, diminui a potência de transmissão necessária da EM.

Todas as funções de RRM participam do processo de *soft handover*: o HC processa os relatórios de medição da EM e toma a decisão final com base nessas informações. Além disso, atualiza a potência de transmissão de referência. O AC é necessário para a decisão de admissão no enlace de descida para o RAB RT. A RM aloca o código de espalhamento no enlace de descida para um novo enlace que participa do processo de *handover*, e libera o código de espalhamento quando esse enlace é removido da célula. O LC atualiza a informação de carga do enlace de descida da célula quando um novo RAB RT é admitida ou quando é removida de célula. Para comutação de pacotes de dados o PS libera um código de espalhamento no enlace de descida para o enlace que participa do *handover* no caso de um RAB NRT e pedidos de adição de novo enlace para um RAB NRT com prioridade máxima.

3.3.1.2 Processo de *Hard Handover* utilizando a mesma frequência (*Intra-system–Intra-frequency Hard Handover*)

O processo de *hard handover* é necessário quando RNC diferentes controlam células participantes do processo. Nesse caso há a desconexão temporária do RAB RT, porém, ocorre sem perdas para o RAB NRT. Cumpre ressaltar que a palavra perda utilizada na descrição do processo se refere ao fato de que, por uma fração de tempo, a EM fica sem ligação com nenhuma das células. Entretanto em termos operacionais esta perda pode ser ignorada. O RNC toma as decisões com base nos relatórios de medição *intra-frequency* e nos parâmetros de controle pertinentes. Um algoritmo simples para o *hard handover* se baseia no valor médio de E_c/I_0 do P-CPICH da célula servidora e das células vizinhas e na margem de *handover* que é usada como um limiar para evitar *hard handover* repetitivos entre as células. O *intra-frequency hard handover* ocorre quando os resultados da medição da célula vizinha não

satisfazem a equação a seguir (Laiho, Wacker e Novosad, 2006),

$$AveEcIoDownlink + EcIoMargin(n) < AveEcIoNcell(n) \quad (3.5)$$

onde AveEcIoDownlink é a média de E_c/I_0 do P-CPICH da célula com melhor sinal no enlace de descida; AveEcIoNcell(n) é a média de E_c/I_0 do P-CPICH das n células vizinhas, e EcIoMargin(n) é a margem pela qual a E_c/I_0 das n células vizinhas devem exceder o E_c/I_0 da célula que melhor serve antes que o *handover* seja possível. Ao realizar um *hard handover*, quando o *soft handover* não é possível, evita-se a interferência excessiva. Durante o procedimento de *hard handover* há a substituição de todos os enlaces do conjunto ativo, simultaneamente, por um novo enlace.

3.3.1.3 Processo de *Hard Handover* utilizando frequências diferentes (*Intra-system– Inter-frequency Hard Handover*)

O IF-HO é um *hard handover* entre diferentes portadoras WCDMA necessárias para garantir um caminho de *handover* a partir de uma célula para outra célula em situações em que diferentes portadoras foram alocadas para as células em questão. Além disso, o *hard handover* significa que a desconexão do RAB RT é temporária e ocorre sem perdas para o RAB NRT. O IF-HO também permite *handover* entre camadas separadas de uma rede celular multi-camadas, por exemplo, uma rede constituída por macro e micro-células, onde as camadas de células estão usando diferentes portadoras. As figuras 3.9 e 3.10 ilustram os procedimentos acima citados.

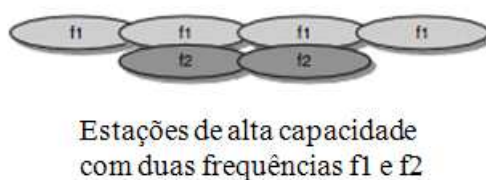


Figura 3.9: *Hard handover* entre portadoras diferentes do mesmo sistema WCDMA

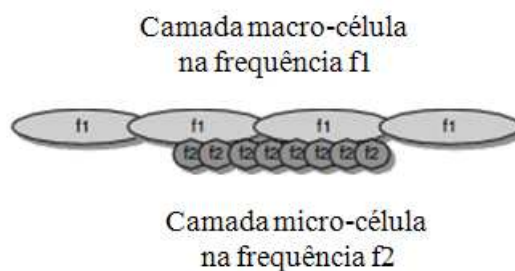


Figura 3.10: *Hard handover* entre portadoras diferentes de camadas separadas do mesmo sistema WCDMA

O algoritmo de IF-HO é localizado no RNC que reconhece a possibilidade de um IF-HO baseado na configuração da rede rádio (alocação de frequência, definições de vizinhança, camadas de células, etc.). Quando uma EM está localizada onde um IF-HO é possível e necessário, o RNC comanda a EM para iniciar medições de *inter-frequency* e relatar os resultados periodicamente. As decisões de *handover* são tomadas pelo RNC com base em resultados da medição (*inter* e *intra-frequency*) e parâmetros de controle pertinentes. Para ser capaz de executar as medidas de *inter-frequency*, a EM deve estar equipada com um segundo receptor sintonizado na frequência das EM vizinhas ou deve ter condições de operar o método de compressão (CM - *Compressed Mode*).

As medições de células na mesma frequência podem ser feitas simultaneamente com a transmissão quando a EM utiliza um receptor *Rake*. Porém, o método de compressão é necessário quando é preciso realizar medições em outras frequências e a EM não possui um segundo receptor, por exemplo. Nesse caso, a transmissão e recepção são interrompidas por um curto período de tempo para que essa medição de outra frequência seja possível. Para que isso seja feito sem perda de informação, os dados devem ser comprimidos no tempo. O RNC determina quais quadros devem ser comprimidos e envia essa informação tanto para a EM quanto para a ERB. Durante a compressão exige-se uma potência maior e o controle de potência não é realizado. Após a compressão do quadro utiliza-se um passo maior para permitir uma convergência mais rápida do nível de potência para o valor correto.

3.3.2 *Handover* entre Sistemas diferentes (*Inter-system*)

O IS-HO é o *handover* entre UTRA FDD e um sistema que utiliza uma tecnologia diferente, ou entre sistemas WCDMA caso o outro sistema empregue um modo diferente de acesso, ou seja, UTRA TDD. Com o IS-HO pode-se complementar as áreas de cobertura de

um sistema WCDMA com um sistema vizinho e vice-versa, quando a área de cobertura WCDMA está limitada apenas a determinadas áreas. Quando há sobreposição das áreas de cobertura WCDMA e do sistema vizinho, um IS-HO controla a carga entre os sistemas também. Por exemplo, as conexões de voz podem ser entregues a um sistema vizinho de segunda geração (2G) e o WCDMA trata as conexões de dados. O IS-HO é um *hard handover*, isto é, causa desconexão temporária do RAB RT. Quando um RAB RT é entregue a partir de um sistema para outro, o Núcleo da Rede (CN) é responsável pela adaptação dos parâmetros de qualidade de serviço incluídos nos atributos do RAB de acordo com o novo sistema.

O algoritmo de decisão do IS-HO está localizado no RNC, mas a EM deve suportar IS-HO e todas as suas medidas necessárias antes que essa funcionalidade possa ser usada. Quando a EM está localizada onde um IS-HO é possível e necessário, o RNC ordena a EM para iniciar medições *inter-system* e reportar os resultados periodicamente. As decisões de *handover* tomadas pelo RNC baseiam-se nos resultados dessas medições e em parâmetros de controle pertinentes.

O RNC também reconhece a possibilidade de um IS-HO com base na configuração da rede de rádio (definições de vizinhança e parâmetros de controle relevantes). No caso do segundo sistema ser um sistema GSM, o algoritmo de decisão do IS-HO de GSM para WCDMA está localizado no controlador de estação rádio base (*Base Station Controller - BSC*) do GSM. Do ponto de vista do RNC um IS-HO de GSM para WCDMA, não difere do *hard handover inter-RNC*. Do mesmo modo, um IS-HO de WCDMA para GSM, não difere do *handover inter-BSC* do ponto de vista da BSS GSM. Tal como acontece com as medições de *inter-frequency* a UE deve ser equipada com um segundo receptor ou operar com modo comprimido para executar as medidas *inter-system*.



Figura 3.11: *Hard handover* entre sistemas diferentes (Ex: WCDMA e GSM)

3.4 CONTROLE DE CONGESTIONAMENTO

No WCDMA é de extrema importância manter a carga da interface aérea dentro de limites predefinidos. Este raciocínio tem por base evitar que a carga excessiva impeça que a rede garanta os requisitos necessários. Em outras palavras, a área de cobertura prevista não é alcançada, a capacidade é menor do que o necessário e a qualidade de serviço é degradada. Além disso, uma interface aérea com carga excessiva pode conduzir a rede a uma condição instável. Três funções diferentes são usadas neste contexto:

- Controle de Admissão (AC) - controla todo novo tráfego entrante. Verifica se um novo RAB de dados ou voz pode ser admitida no sistema e fornece os parâmetros para cada RAB recém-admitido;
- Gerenciador de pacotes de dados (PS) - trata todo o tráfego NRT, ou seja, pacotes de dados. Basicamente, decide quando a transmissão dos pacotes é iniciada e a taxa de bits a ser utilizada;
- Controle de Carga (LC) - gerencia a situação quando a carga do sistema ultrapassa o limite e algumas contramedidas devem ser tomadas para que o sistema volte a uma carga viável.

3.4.1 Controle de Admissão

O AC decide se um novo RAB é admitido ou se um RAB existente pode ser modificado. Devido ao tráfego de naturezas diferentes, o AC consiste, basicamente, de duas partes. Para o tráfego RT (conversação sensível a atrasos) o AC decide se a EM está autorizada a entrar na rede. Se o novo RAB causar uma interferência excessiva no sistema, o acesso é negado. Para tráfego NRT (menos sensíveis a atrasos) a programação ideal dos pacotes (tempo e taxa de bits), deve ser determinada após o RAB ser admitido.

O AC trabalha em estreita colaboração com o PS. O algoritmo calcula o aumento de carga que a criação ou modificação do RAB causaria na RAN. São realizadas estimativas separadas para o enlace de subida e descida. Somente se ambos os critérios do enlace de subida e de descida forem cumpridos, aceita-se os pedidos de ativação do novo RAB ou de modificação de um RAB e, então, o RAB é estabelecido ou alterado, ou os pacotes são enviados. Realiza-se a estimativa de carga não apenas na célula de acesso, mas também nas

células adjacentes para levar em conta o efeito da interferência entre células, pelo menos nas células do conjunto ativo. Neste caso, o RAB não é admitido se a carga prevista ultrapassar os limiares estabelecidos no enlace de subida ou de descida.

No processo de tomada de decisão, o AC utiliza os limiares definidos durante o planejamento da rede, a interferência do enlace de subida e a informação da potência de transmissão do enlace de descida que é recebida do canal de faixa larga. Para ser capaz de decidir se aceita o pedido de admissão, deve-se conhecer a situação atual de carga das células vizinhas na rede e a carga adicional devido o serviço solicitado. Portanto, a funcionalidade de CA está localizada no RNC, onde toda esta informação está disponível.

3.4.1.1 Controle de admissão baseado em potência de faixa larga

A decisão de admissão no enlace de subida é baseada em limites específicos de carga das células definidos durante o planejamento da rede de rádio. Admite-se um RAB RT se a potência não controlável no enlace de subida, $PrxNC$, atende à equação (3.6) e a potência interferente de faixa larga total, $PrxTotal$, estiver de acordo com a equação (3.7),

$$PrxNC + \Delta I \leq PrxTarget \quad (3.6)$$

$$PrxTotal \leq PrxTarget + PrxOffset \quad (3.7)$$

onde $PrxTarget$ é a média ideal de $PrxTotal$ e $PrxOffset$ é a margem máxima pela qual $PrxTarget$ pode ser ultrapassada, definidos durante o planejamento da rede. Para o RAB NRT aplica-se somente a última condição. A potência recebida não-controlável, $PrxNC$, consiste na potência dos usuários RT, usuários de outras células e ruído.

O termo ΔI é o aumento da potência interferente de faixa larga que o novo RAB causa. Para a sua estimativa dois métodos são propostos. O primeiro é chamado de método de derivação (Laiho, Wacker e Novosad, 2006) e define o aumento de potência como

$$\Delta I \approx \frac{PrxTotal}{1-\eta} \cdot \Delta L \quad (3.8)$$

A segunda abordagem é chamada de método de integração (Laiho, Wacker e Novosad, 2006). Neste, o aumento de potência é estimado em:

$$\Delta I \approx \frac{PrxTotal}{1-\eta-\Delta L} \cdot \Delta L \quad (3.9)$$

Em ambas as equações, (3.8) e (3.9), a carga fracional do ΔL para o novo usuário pode ser calculada como:

$$\Delta L = \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho \cdot R \cdot v}} \quad (3.10)$$

onde W é a taxa de chip; ρ é a E_b/N_0 requerida, v a atividade de serviço do novo portador.

Para a direção de enlace de descida é definido um algoritmo similar ao do enlace de subida. Admite-se um RAB RT se a carga do enlace de descida não controlável, P_{txNC} , atender a equação (3.11) com a potência total de transmissão de faixa larga, $P_{txTotal}$, satisfazendo a equação (3.12).

$$P_{txNC} + \Delta P \leq P_{txTarget} \quad (3.11)$$

$$P_{txTotal} \leq P_{txTarget} + P_{txOffset} \quad (3.12)$$

onde $P_{txTarget}$ é a média ideal de $P_{txTotal}$ e $P_{txOffset}$ é a margem máxima pela qual $P_{txTarget}$ pode ser ultrapassada, definidos durante o planejamento da rede. Para tráfego NRT somente a última condição é aplicada. A potência de transmissão não controlável, P_{txNC} , consiste na potência dos usuários RT, usuários de outras células e ruído. ΔP pode ser baseada na potência de transmissão inicial estimada pelo controle de potência de malha aberta.

3.4.1.2 Controle de admissão baseado na taxa de transferência

O CA baseado na taxa de transferência é bastante simples por natureza. A estratégia é simplesmente a de que um novo RAB é admitido apenas se a carga total após a admissão ficar abaixo dos limiares definidos durante o planejamento da rede de rádio. No enlace de subida, isso significa que:

$$\eta_{oldUL} + \Delta L \leq \eta_{thresholdUL} \quad (3.13)$$

deve ser cumprido, e no enlace de descida:

$$\eta_{oldDL} + \Delta L \leq \eta_{thresholdDL} \quad (3.14)$$

onde η_{oldUL} e η_{oldDL} definem a carga da rede antes da solicitação de um novo RAB e ΔL é o aumento da carga calculada com a equação (3.10).

3.4.2 Gerenciamento dos pacotes de dados

A RAN fornece uma capacidade de alocar RABs de serviços para a comunicação entre o CN e a UE. Esses RAB possuem diferentes características de acordo com as demandas dos diferentes serviços e aplicações. No conceito de qualidade de serviço no UMTS, os RAB são divididos em classes de tráfego, de acordo com a sensibilidade ao atraso. O gerenciador de pacotes de dados trata de todo tráfego NRT.

Uma característica típica do tráfego NRT é a natureza de rajada do tráfego. Uma sessão de um serviço de pacotes contém uma ou mais chamadas de dados dependendo da aplicação. Essa sessão pode ser considerada uma duração de um RAB NRT e a chamada de dados como um período ativo de um pacote de transmissão de dados. Durante uma chamada de dados muitos pacotes NRT podem ser gerados, significando uma sequência de rajadas de pacotes. O PS é a programação dos dados de RAB em ambos os enlaces de subida e de descida. As classes de tráfego que são sensíveis a atrasos exigem recursos dedicados para toda a duração da ligação. A alocação de recursos rádio para um RAB RT baseado em comutação de pacotes é uma função do AC.

3.4.3 Controle de Carga

Caso a rede se encontre em uma situação de sobrecarga, a funcionalidade de LC irá forçar o sistema a voltar rapidamente e de forma controlada para o nível de carga desejado, o qual é definido no planejamento da rede. A principal funcionalidade do LC pode ser dividida em duas tarefas. Em circunstâncias normais o LC cuida para que a rede não esteja sobrecarregada e permaneça em estado estável. Para alcançar este objetivo, o LC trabalha em estreita colaboração com o AC com o PS. Esta tarefa é chamada de ação preventiva do LC. Em situações muito excepcionais, no entanto, o sistema pode ser conduzido em uma situação de sobrecarga. Então o controle da sobrecarga é responsável por reduzir a carga relativamente rápido e, assim, levar a rede de volta para a área de atuação desejada definida durante o planejamento da rede de rádio. A funcionalidade do LC é distribuída entre a ERB e o RNC. A seguinte lista de ações pode ser realizada para reduzir a carga:

- ações rápidas de LC localizadas na ERB:
 - negar comandos de enlace de descida ou substituir comandos de enlace de subida para aumentar a potência;

- usar uma SIR alvo de enlace de subida menor para o controle de potência de malha fechada.
- ações rápidas de LC localizadas no RNC:
 - interagir com o PS e desacelerar o tráfego de dados;
 - reduzir as taxas de bit de usuários RT, ou seja, serviço de voz ou de dados comutados por circuito;
 - fazer uso do WCDMA IF-HO ou IS-HO GSM;
 - desconectar chamadas de maneira controlada.

Como nos sistemas WCDMA existe a possibilidade dos enlaces de subida e de descida serem desbalanceados, as tarefas de controle de congestionamento têm de ser feitas separadamente para cada enlace. Duas abordagens diferentes podem ser usadas para medir a carga da interface aérea. A primeira define a carga através da recepção e transmissão de potência de faixa larga e a segunda é baseada na soma das taxas de bits atribuídas a cada RAB do conjunto ativo.

3.4.3.1 Carga baseada na potência de faixa larga

No enlace de subida, a ERB mede a potência total recebida, $PrxTotal$, que pode ser dividida em três partes,

$$PrxTotal = I_{own} + I_{oth} + P_N \quad (3.15)$$

onde I_{own} é a potência recebida de usuários da própria célula; I_{oth} é a potência recebida de usuários das células vizinhas e P_N representa a potência do ruído total, incluindo o ruído de fundo e do receptor, bem como a interferência proveniente de outras fontes. Uma quantidade que representa a carga no enlace de subida pode ser obtida a partir da equação (3.16). O fator de carga do enlace de subida, η_{UL} , é definido como,

$$\eta_{UL} = \frac{I_{own} + I_{oth}}{PrxTotal} \quad (3.16)$$

No enlace de descida, um método de definição da carga da interface aérea é simplesmente dividir a potência total de transmissão alocada na ERB, $PtxTotal$, pela capacidade máxima de potência transmitida da célula, $PtxMax$,

$$\eta_{DL} = \frac{PtxTotal}{PtxMax} \quad (3.17)$$

No LC baseado em potência de faixa larga, as medidas necessárias para decidir se

alguma ação de LC precisa ser tomada são a potência interferente total recebida, $PrxTotal$, no enlace de subida e a potência de transmissão total por portadora, $PtxTotal$, no enlace de descida. A definição dos valores máximos permitidos para essas quantidades, descritas na Seção 3.4.1.1, é realizada no planejamento da rede.

Se qualquer um dos limiares ($PrxTarget$ ou $PtxTarget$) for ultrapassado, a célula entra no estado em que as ações preventivas de LC são iniciadas. Se qualquer um ($PrxTarget/PrxOffset$) ou ($PtxTarget/PtxOffset$) é excedido, a célula é movida para um estado de sobrecarga e ações de controle de sobrecarga são iniciadas. A figura 3.12 apresenta um panorama das ações conjuntas do AC, PS e LC nos estados de carga diferentes, definidos pelos parâmetros acima.

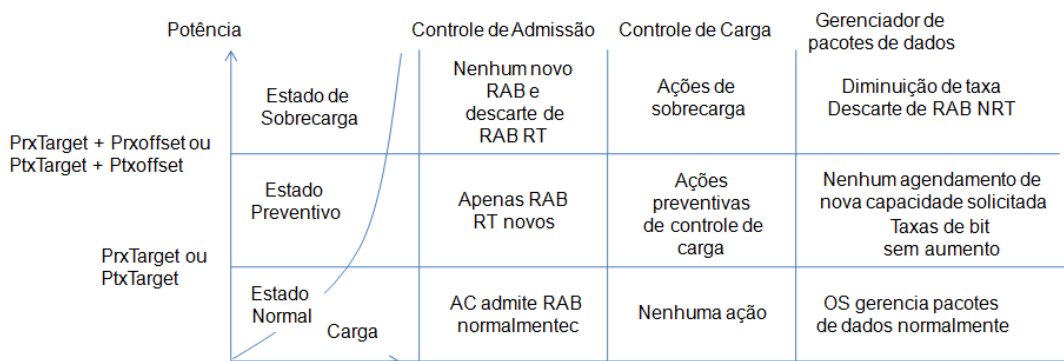


Figura 3.12: Interação das ações de CA, LC e PS no controle da carga do sistema

O AC e PS juntos realizam ações preventivas de LC e este opera como um mediador entre essas duas funções atualizando o *status* de carga da célula com base nas medições de recursos rádio e as estimativas fornecidas pelo AC e PS. Se a célula está no estado normal de carga, o AC e PS podem trabalhar normalmente. Se a carga ultrapassa o valor alvo, mas é inferior aos limiares de sobrecarga especificados, somente as ações preventivas de LC são realizadas.

O AC só admite um novo RAB se a carga de RT for inferior a $PrxTarget$ ou $PtxTarget$ e o PS não aumenta a taxa de bits do RAB NRT admitidos. Se a célula passa para um estado de sobrecarga, o PS começa a diminuir as taxas de bits, por exemplo, de RAB NRT selecionados aleatoriamente, tendo em conta as classes de tráfego e as prioridades definidas pela operadora dentro da mesma classe de tráfego. No entanto, a taxa de combinação deve ser reduzida abaixo da taxa de bit mínima permitida atribuída para a portadora selecionada durante o planejamento de rede. Outra maneira possível para reduzir a carga é tentar deslocar o tráfego NRT da DCH para FACH no caso do FACH não estar sobrecarregado. No caso mais extremo, RAB RT e RAB NRT podem ser descartados.

3.4.3.2 Carga baseada na taxa de transferência

No enlace de subida, a definição de carga baseia-se na soma dos fatores de carga individual de cada usuário k :

$$\eta_{UL} = \sum_k \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k \cdot \nu_k}} \cdot (1 + i) \quad (3.18)$$

onde W é a taxa de *chip*; e ρ_k , R_k and ν_k são a E_b/N_0 requerida, a taxa de bit e a atividade de serviço de usuário k , respectivamente.

No enlace de descida, o processo é semelhante ao utilizado na abordagem baseada na potência de faixa larga: a carga é a soma das taxas de bit de todas as conexões ativas, dividida pela taxa de transferência máxima especificada para a célula como é mostrado a seguir,

$$\eta_{DL} = \frac{\sum_{k=1}^N R_k}{R_{\max}} \quad (3.19)$$

onde R_k é a taxa de bits da conexão k , e N é o número total de conexões. Nota-se que, no somatório, as taxas de bits dos canais comuns também devem ser incluídas. Alternativamente, a carga do enlace de descida pode ser definida como descrito na equação (3.20) através da introdução de um fator de ortogonalidade médio (α) e taxa média de interferência devido a usuários de células no enlace de descida i_{DL} :

$$\eta_{DL} = [(1 - \alpha) + i_{DL}] \cdot \sum_{k=1}^N \left(\frac{\rho_k \cdot R_k \cdot \nu_k}{W} \right) \quad (3.20)$$

onde W é a taxa de chip e ρ_k , R_k and ν_k são, respectivamente, a E_b/N_0 requerida, a taxa de bit e a atividade de serviço de usuário k .

3.5 GERENCIADOR DE RECURSOS

Concluindo este Capítulo, a título de informação, esta Seção apresenta uma descrição sucinta do gerenciador de recursos. A sua função principal é alocar recursos rádio físicos quando requeridos pela camada de controle de recurso rádio (*Radio Resource Control- RRC*). Para ser capaz de fazer isso o gerenciador de recursos tem de conhecer todas as configurações de rede necessárias e a situação da rede, incluindo os parâmetros que afetam alocação de

recursos rádio lógicos.

O gerenciador de recursos é localizado em parte no RNC e parte na ERB. O trabalho é feito em conjunto com o AC e PS: os dados de entrada para a alocação de recursos vêm dessas duas funções e o gerenciador de recursos informa o PS sobre a situação dos recursos. O gerenciador de recursos apenas vê os recursos rádio lógicos de uma ERB e a alocação atual significa que o gerenciador reserva certa proporção dos recursos rádio de acordo com o requisito do canal da camada RRC para cada conexão de rádio.

Na atribuição de canal o gerenciador de recursos seleciona um código de espalhamento para cada conexão na direção do enlace de descida. O tamanho do código de espalhamento depende dos códigos disponíveis no momento e do requisito para a taxa de dados do canal: quanto maior a taxa, menor o código. O gerenciador deve ser capaz de trocar os códigos e tipos de códigos devido diferentes razões, por exemplo, *soft handover*, defragmentação da árvore de código, etc. É o responsável também pela alocação dos códigos de espalhamento para conexões no enlace de subida.

4 MECANISMOS DE INTERFERÊNCIA E METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

Este Capítulo conclui a parte relativa à estruturação da Dissertação abordando dois temas fundamentais: a) Estudo da interferência no sistema WCDMA; b) Metodologia da simulação utilizada pela ferramenta NPSW - *Static Radio Network Planning Tool for Wideband CDMA* (Wacker et al, 2001) a qual foi desenvolvida pela Nokia para ser um protótipo de *software* de planejamento e otimização de sistemas WCDMA. A partir dos dados de entrada da rede projetada, o simulador realiza os cálculos de enlace e realiza iterações no enlace de subida e de descida. Como resultado, pode-se obter uma análise da predição de cobertura e de capacidade da rede.

4.1 INTERFERÊNCIA NO SISTEMA WCDMA

A interferência é um fator de grande relevância no desempenho do sistema WCDMA. Nesse sistema podemos identificar dois tipos de interferência. Primeiramente, a interferência interna, ou seja, de mesmo canal, gerada pela rede da própria Operadora representada pela interferência gerada na própria célula e também pelas células vizinhas que utilizam a mesma portadora. O segundo fator é a interferência devido ao canal adjacente que pode ser gerada a partir de duas fontes: a) a partir da própria rede, ou seja, quando uma Operadora utiliza duas portadoras na mesma área para aumentar a capacidade da rede, b) a interferência de canal adjacente em ambientes multi-operadoras quando, por exemplo, duas Operadoras operaram suas redes na mesma área geográfica em portadoras adjacentes.

A interferência de mesmo canal deve ser controlada através de um processo contínuo de otimização da rede através de técnicas adequadas como o uso de setorização, escolha adequada da altura, largura e inclinação de feixe das antenas e utilização de amplificadores de

mastro (MHA – *Mast Head Amplifier*). A nomenclatura utilizada para este dispositivo está ligada à posição física em que é instalado e não à função que exerce. Com a introdução do MHA supõe-se que haverá um ganho adicional de 2 dB na entrada do receptor da ERB. Estas técnicas serão descritas através dos resultados dos exercícios realizados neste trabalho (ver Capítulo 5).

Nesse contexto, a ACI gerada a partir da própria rede não será foco deste trabalho, pois tem demonstrado não ser crítica. Através do uso das técnicas de planejamento de rede de rádio recomendadas e realizando o processo de *Hard Handover* utilizando frequências diferentes (*Intra-system – Inter-frequency Hard Handover*), descrito no Capítulo 3 deste trabalho, esses problemas podem ser significativamente minimizados.

Em vista do exposto acima, a ênfase dessa Seção será concentrada no estudo da ACI em ambientes multi-operadoras. Nesse cenário, torna-se mais difícil contornar os problemas gerados, pois devido a recursos de frequência escassos, não são permitidas faixas de guarda de grande dimensão. Isto significaria um desperdício do espectro de frequência, especialmente lembrando a faixa larga requerida pelos sistemas WCDMA.

Por outro lado, os problemas de ACI com duas operadoras podem ser minimizados com o uso de filtros com máscaras de alta precisão nos transmissores e receptores das estações rádio base e das estações móveis. Porém, é necessário levar em conta que, requisitos rígidos no que diz respeito à interferência de faixas vizinhas inviabilizam a construção de equipamentos confiáveis a um custo acessível.

Considerando apenas a interferência entre operadoras distintas, duas situações críticas podem ocorrer:

- a estação móvel da operadora 1 (EM1) aproxima-se da estação rádio base da operadora 2 (ERB2) e bloqueia ERB2 porque está transmitindo com a potência máxima. Isto acontece quando EM1 está localizada na borda da célula da operadora 2;
- a ERB2 transmite com alta potência, podendo bloquear todas as estações móveis da operadora 1 que estejam no entorno desta estação.

4.1.1 Interferência de Canal Adjacente (ACI)

As principais fontes de interferência de canal adjacente são as emissões indesejáveis

fora da faixa do canal de operação devido a imperfeições dos circuitos elétricos que compõem os equipamentos:

- Característica não ideal do filtro do transmissor;
- Não linearidade do transmissor;
- Característica não ideal do filtro do receptor;
- Não linearidade do receptor.

4.1.1.1 Parâmetros de Referência

A interferência entre canais adjacentes pode ser caracterizada através de 3 (três) parâmetros.

a) Relação de potência entre o canal principal e o canal adjacente (ACLR - *Adjacent Channel Leakage Power Ratio*) – corresponde à relação entre a potência total transmitida e a potência medida no canal adjacente. Caso a potência do canal adjacente seja superior a -50 dBm, então os requisitos da ACLR devem ser definidos conforme a tabela 4.1 (3GPP TS 25.101 v7.2.0, 2005 e 3GPP TS 25.104 v7.2.0, 2005).

Adjacência	Separação entre canais	ACLR máxima permitida	
		MS	BS
Primeira portadora adjacente	5 MHz	33 dB	45 dB
Segunda portadora adjacente	10 MHz	43 dB	50 dB

Aplicável se a potência do canal adjacente > - 50 dBm

Tabela 4.1: Valores de ACLR

b) Seletividade do canal adjacente (ACS - *Adjacent Channel Selectivity*) – definido em função da seletividade do filtro do receptor como uma medida de capacidade de receber um sinal WCDMA na frequência do canal atribuído na presença de um sinal de canal adjacente. A ACS também pode ser interpretada como a relação entre a atenuação do filtro de recepção na frequência do canal atribuído e a atenuação do filtro do receptor no canal adjacente. Para a estação móvel, a ACS deve ser superior a 33 dB (3GPP TS 25.101 v7.2.0, 2005) e para a estação rádio base, os requisitos para o canal de voz e uma BER de 10^{-3} são mostradas na tabela 4.2 (3GPP TS 25.104 v7.2.0, 2005).

Parâmetro	Valor
Taxa de bits	12.2 kbps
Sinal desejado	-115dBm
Sinal interferente	-52dBm
Faixa	5MHz

Tabela 4.2: Requisitos de ACS para a estação rádio base

c) Relação de Interferência no Canal Adjacente (ACIR - *Adjacent Channel Interference Ratio*) – definida através da combinação dos parâmetros anteriores (ECC REP082, 2006),

$$ACIR = 1 / ((1/ACLR) + (1/ACS)) \quad (4.1)$$

Este parâmetro pode ser considerado como fundamental na análise de problemas de interferência. Esta é a métrica utilizada para analisar a interferência no canal adjacente fazendo a relação com algum outro parâmetro sistêmico relevante como, por exemplo, a perda de capacidade com a queda de conexão. Os parâmetros usados para controlar e limitar o nível de interferência são a faixa de guarda entre as portadoras e um adicional de faixa para melhor garantir imunidade à interferência, entre as estações rádio base dos sistemas. Para definir esses parâmetros deve-se analisar a perda de capacidade em função da variação da ACIR.

4.1.1.2 Perda Mínima de Acoplamento (MCL)

Este parâmetro (MCL - *Minimum Coupling Loss*) é definido como a perda mínima por percurso que pode ocorrer entre os transmissores e receptores da estação rádio base e da estação móvel. Esse cenário ocorre quando uma EM chega o mais próximo possível de uma ERB. Caso a potência dessa EM seja controlada pela ERB em questão, a potência será reduzida até atingir o valor mínimo possível. Se este estágio é alcançado e a EM ainda continua a se aproximar da ERB, isso significa que a EM estará transmitindo com potência excessiva, provocando um aumento da interferência no enlace de subida acima do valor aceitável.

O problema de MCL pode ocorrer também quando uma EM da Operadora 2 chega muito perto da ERB da Operadora 1. A diferença, entretanto, é que a EM não tem sua potência controlada pela ERB da qual ele se aproxima. Caso as duas operadoras tenham suas estações rádio base co-localizadas, essa situação não é crítica, desde que a ERB da Operadora 2 envie um comando para a EM diminuir sua potência.

Na realidade, porém, existem apenas valores finitos para ACS e ACLR. Então,

assumindo os valores de 33 dB e 45 dB (3GPP TS 25.101 v7.2.0, 2005 e 3GPP TS 25.104 v7.2.0, 2005), respectivamente, a *ACIR* é calculada como,

$$ACIR = -10 \cdot \log_{10}(10^{-33/10} + 10^{-45/10}) dB = 32.7 dB \quad (4.2)$$

Isto significa que, se a própria EM e a EM da outra operadora transmitem com a mesma potência, a interferência recebida da EM da outra operadora é de cerca de 32,7 dB menor que a interferência gerada pela EM no próprio sistema. O pior cenário para o problema de MCL, no entanto, acontece quando alguma EM da Operadora 2 está transmitindo com potência máxima na distância MCL em relação à ERB da Operadora 1 como pode ser visto na figura 4.1. Isto acontece, por exemplo, quando as Estações Rádio Base não são co-localizadas.

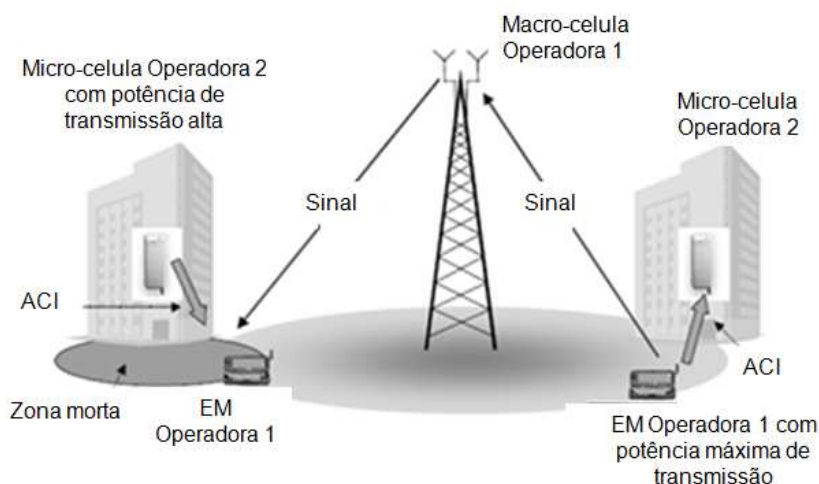


Figura 4.1: Cenário do pior caso para intra-system ACI

4.1.1.3 Cenários de Análise de Interferência

A análise de problemas de interferência em um ambiente multi-portadoras deve ser realizada sob duas óticas distintas: uma que contempla as estações rádio base em posições distintas da área em estudo e outra para as estações co-localizadas, pois cada caso tem problemas específicos.

4.1.1.3.1 Estações em posições distintas

Nesse caso, observa-se o efeito perto-longe (*near-far*). Pode haver interferência de

canal adjacente de um sistema em outro quando os móveis localizam-se na borda de suas células. Nessa condição os móveis transmitem com a máxima potência e o nível do sinal recebido é mínimo nas estações correspondentes. No enlace de descida as ERB (A e B), com potências elevadas, causam alto nível de ACI nos receptores das EM (B e A), respectivamente. No enlace de subida os móveis transmitem com potência máxima, próximos às estações rádio base do outro sistema, causando ACI nos receptores dessas estações. Em ambos os casos, a intensidade da ACI é dependente da perda de acoplamento entre estação rádio base e o móvel. A intensidade da ACI depende também de outros fatores como faixa de guarda entre as portadoras, zona de guarda entre as estações, e das características dos filtros e circuitos de RF do transmissor e receptor tanto da estação rádio base quanto do móvel.

4.1.1.3.2 Estações Co-localizadas

Na situação em que é possível implantar as estações rádio base de duas Operadoras no mesmo local, ou seja, compartilhando espaço no mesmo terreno ou até em mastros e torres, não ocorre o efeito perto-longe, pois o controle de potência faz com que os sinais dos móveis tenham níveis mais baixos. Os problemas de interferência entre transmissor e receptor de sistemas diferentes próximos, como nesse caso, devem ser tratados com filtros especiais e outras medidas de *hardware*.

4.2 METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

Para realização das simulações de interesse desse trabalho, foi utilizado o *software* NPSW (Wacker et al, 2001). Cumpre observar que, tal como no Capítulo 3, a nomenclatura não usual utilizada nas fórmulas desta Seção segue o padrão utilizado por este *software*. Esta nomenclatura se destaca, particularmente, a partir da Seção 4.2.2. Para utilização do NPSW primeiramente deve ser feita a definição da estrutura da rede rádio. Na fase de inicialização a configuração global da rede é definida a partir dos parâmetros que constam nos arquivos com informações das estações rádio base, das estações móveis e da área geográfica da rede e constituem os dados de entrada para o simulador. Após isso, os cálculos de propagação são executados. Na etapa seguinte, os requisitos de desempenho do nível de enlace são atribuídos às estações rádio base e às estações móveis. Após as tarefas de inicialização para a análise iterativa, tais como seleção da potência de transmissão e itens de desempenho padrão da rede,

inicia-se a simulação.

Alguns algoritmos utilizados nas iterações refletem as características que são típicas de uma rede 3G levando em conta os vários serviços e seus requisitos de qualidade de serviço, controle rápido de potência no enlace de subida e de descida, *soft* e *softer handover* e velocidade do terminal móvel. O *software* utiliza uma abordagem determinística no que diz respeito à localização dos terminais móveis, ou seja, é um simulador estático. Nos itens a seguir será descrita a metodologia de simulação utilizada no presente trabalho.

É importante mencionar que foi analisada a possibilidade de utilização de outras ferramentas de planejamento e otimização de redes que são usualmente empregadas pelas equipes de planejamento em empresas operadoras. Porém, por se tratar de ferramentas que necessitam de aquisição de licenças, o acesso às mesmas tornou-se inviável, não sendo, por este motivo, possível avaliar outras ferramentas de planejamento. O NPSW é um *software* aberto que encontra-se disponível na *internet*. Por esta razão, foi escolhido como ferramenta de simulação neste trabalho. Além disso, cumpre informar que o conceito da metodologia de simulação utilizada pelo NPSW segue os mesmos conceitos das metodologias utilizadas pelo 3GPP e outros estudos sobre o tema WCDMA.

4.2.1 Modelos de propagação

No processo de planejamento da rede, os modelos de propagação são usados para prever o nível do sinal de um transmissor na área em estudo. Nos casos de interesse prático, o terreno sobre o qual se dá a propagação apresenta topografia variada, vegetação e construções distribuídas de forma aleatória. Embora o cálculo da perda de propagação possa ser realizado através do emprego de métodos numéricos, como por exemplo, o método de traçado de raios ou soluções para aproximações da equação de onda, o cálculo de cobertura de uma ERB utiliza, em geral, métodos empíricos ou semi-empíricos. Tais métodos fornecem o valor mediano da perda de propagação em função de parâmetros como a altura das antenas, frequência de operação, distância entre transmissor e receptor, características do relevo e grau de urbanização. Alguns métodos semi-empíricos consideram uma descrição mais detalhada do ambiente urbano incluindo largura de ruas, sua orientação relativa ao enlace entre transmissor e receptor e altura média dos prédios. Pelo fato de serem baseados em medições realizadas em locais específicos, esses modelos tendem a não fornecer resultados muito confiáveis quando aplicados a regiões que diferem significativamente da região original das medidas. A precisão

dos valores deve ser refinada, através do ajuste de seus parâmetros com base em medidas nas regiões em que serão aplicados.

4.2.1.1 Modelo de Okumura-Hata

O modelo de Okumura-Hata é amplamente utilizado para o cálculo de cobertura em planejamento de rede macro-celular. Com base nos dados experimentais de Okumura obtidos na área de Tóquio e cobrindo a faixa de frequências entre 150 e 1920 MHz, Hata (Hata, 1980) ajustou as fórmulas matemáticas, para facilitar o cálculo da atenuação de propagação.

No modelo original, o primeiro passo consiste em calcular a atenuação de propagação em área urbana para uma situação específica das alturas da estação rádio base e da estação móvel em função da distância entre estação rádio base e estação móvel e da frequência. A este resultado deve ser adicionado à atenuação por propagação no espaço livre. A seguir, curvas empíricas possibilitam generalizar o resultado inicial em função das alturas das estações e para áreas suburbanas e rurais. Por outro lado, as fórmulas de Hata são válidas na faixa de frequências entre 150 e 1500 MHz, a altura da estação rádio base está entre 30 e 200 m, a altura da estação móvel está entre 1 e 10m e a distância entre 1 e 20km. A antena da estação rádio base deve estar em um nível acima da altura média dos prédios adjacentes.

Devido à limitação de faixa de frequência, o modelo original foi adaptado pelo modelo COST231, resultando em um modelo COST231-Hata para a faixa de 1500 a 2000 MHz, também aplicável a redes de rádio 3G. Dos modelos de propagação disponíveis o modelo de Okumura-Hata é o mais frequentemente utilizado. Este, portanto, tornou-se uma referência com a qual se compara os demais modelos.

Na equação de Okumura-Hata para a perda de propagação (Hata, 1980),

$$L_p = A + B \cdot \log_{10} f - 13.82 \cdot \log_{10} h_b - a(h_m) + (C - 6.55 \cdot \log_{10} h_b) \cdot \log_{10} d \quad (4.3)$$

L_p é a perda de propagação (dB), f é a frequência (MHz); h_b e h_m são as alturas das antenas da estação rádio base e estação móvel (m); $a(h_m)$ é o ganho da antena da estação móvel (dB), e d é a distância (km). Os parâmetros A e B são definidos pelo usuário de acordo com a tabela 4.3.

	150 – 1000 MHz	1500 – 2000 MHz
<i>A</i>	69.55	46.3
<i>B</i>	26.16	33.9

Tabela 4.3: Constantes A e B para o modelo Okumura-Hata

O parâmetro C representa a dependência do modelo com a distância e seu valor varia entre 44 e 47 sendo o valor padrão mais utilizado, com base na experiência, 44,9. O tipo de ambiente especifica a função $a(h_m)$ para o ganho da antena móvel para uma cidade média ou pequena como a seguir,

$$a(h_m) = (1.1 \cdot \log_{10} f - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \cdot \log_{10} f - 0.8) \quad (4.4)$$

e para cidades grandes:

$$a(h_m) = \begin{cases} 8.29 \cdot [\log_{10}(1.54 \cdot h_m)]^2 - 1.1 & f \leq 300\text{MHz} \\ 3.2 \cdot [\log_{10}(11.75 \cdot h_m)]^2 - 4.97 & f \geq 300\text{MHz} \end{cases} \quad (4.5)$$

Cumpra assinalar que, no caso usual dos sistemas móveis onde $h_m=1,5\text{m}$, esta função é nula.

A expressão geral para o modelo COST231-Hata é a mesma alterando-se apenas os valores de A e B conforme tabela 4.8 e somando um fator de correção adicional C_M . Para cidades de tamanho médio e áreas suburbanas tem-se $C_M = 0$ dB. No caso de áreas urbanas densas (centros metropolitanos) toma-se $C_M = 3$ dB (COST 231, 1991).

A atenuação de propagação em áreas suburbanas e rurais é obtida a partir da correspondente a uma área urbana através de,

$$L_{suburbana} = L_{urbana} - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad (4.6)$$

$$L_{rural} = L_{urbana} - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94 \quad (4.7)$$

4.2.1.2 Modelo de Walfisch-Ikegami

Trata-se de um modelo que pode ser aplicado tanto a macro-células quanto em micro-células, em terrenos planos e urbanos (Walfisch e Bertoni, 1988). Esse modelo gera uma predição aceitável para a atenuação de propagação em regiões com alta densidade de prédios. É um modelo baseado em parâmetros urbanos como densidade de prédios, altura média dos

prédios e largura das ruas. Inclui também a difração múltipla pelos prédios existentes entre a ERB e a EM.

O modelo pode ser aplicado dentro das seguintes condições:

- frequência entre 800 e 2000 MHz;
- altura da estação base entre 4 e 50 metros;
- altura da estação do móvel entre 1 e 3 metros;
- distância entre a estação base e o móvel entre 0.02 e 5 km.

A figura 4.2 ilustra os parâmetros a serem utilizados no modelo de Walfisch-Ikegami, quais sejam,

- h_b é a altura da antena da estação rádio base acima do solo (m);
- h_m é a altura da antena do móvel acima do solo (m);
- h_r é altura média dos prédios (m);
- w é a largura da rua onde o móvel está localizado;
- b é a distância entre os centros dos prédios (m);
- d é a distância entre a base e o móvel (km).

Além disso,

- ϕ é o ângulo entre a onda incidente no móvel e o eixo central da rua onde o móvel está localizado;
- $\Delta h_b - h_b - h_r$ é altura da antena acima da altura média dos prédios (m);
- $\Delta h_r - h_r - h_m$ é altura média dos prédios acima da altura da antena do móvel (m).

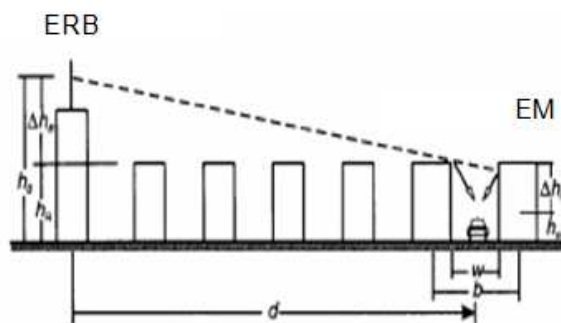


Figura 4.2: Parâmetros do modelo de Walfisch-Ikegami

A expressão geral para a perda de propagação neste modelo é (Mello, 2001):

$$L_b = L_{fs} + L_{rts} + L_{mds} \quad (4.8)$$

onde L_{fs} é a atenuação em espaço livre; L_{rts} é a atenuação por difração entre o topo dos prédios e a rua onde o móvel está localizado e L_{mds} é a estimativa da atenuação por difração em múltiplos obstáculos entre a estação rádio base e o móvel.

4.2.1.3 Modelo para Micro-células

A expressão geral para a perda de propagação neste modelo pode ser definida como (Mello, 2001):

$$L = a + b \log f + c \log d' + e \log d \text{ [dB]} \quad (4.9)$$

onde:

- a – constante [dB] determinada empiricamente ou a partir de modelos canônicos;
- b – fator de atenuação com a frequência (relativo ao expoente de perda com a frequência);
- c – fator necessário quando o modelo utiliza uma distância de referência (d'/d_0), e/ou quando o modelo utiliza mais de um valor para e ;
- e – fator de atenuação com a distância (relativo ao expoente de perda com a distância);
- f – frequência da portadora [MHz];
- d - distância entre transmissor (Tx) e receptor (Rx) [m];
- d' - distância de referência (d_0) ou distância de ponto de quebra, conforme descrito na apresentação do fator c [m].

4.2.2 Cálculo da Potência de Transmissão

Em vista da assimetria entre os enlaces de subida e de descida, procedimentos de cálculo distintos devem ser observados.

4.2.2.1 Cálculo da potência de transmissão no enlace de subida

O objetivo das iterações no enlace de subida é definir a potência de transmissão à estação móvel de forma que o nível de (interferência + ruído) e a sensibilidade da estação rádio base sejam valores convergentes. A potência média de transmissão das estações móveis para cada estação rádio base é estimada de forma que correspondam aos requisitos de E_b/N_0

da estação rádio base e é baseada no nível de sensibilidade desta estação, na taxa de dados do serviço, e na velocidade do móvel e na atenuação do enlace.

Considerando o posicionamento variável de cada estação móvel, após a estimativa da potência de transmissão, as medidas obtidas são comparadas com o valor máximo permitido. Os móveis que excedem esse limite tentam um *handover inter-frequency* ou a transferência para outra portadora, caso contrário, são desconectados. Após essa etapa, a análise de interferência é realizada novamente e a nova carga e sensibilidade da estação rádio base são calculadas até que os valores após as alterações sejam convergentes. Um fluxograma para a etapa de iteração do enlace de subida é mostrado na figura 4.3.

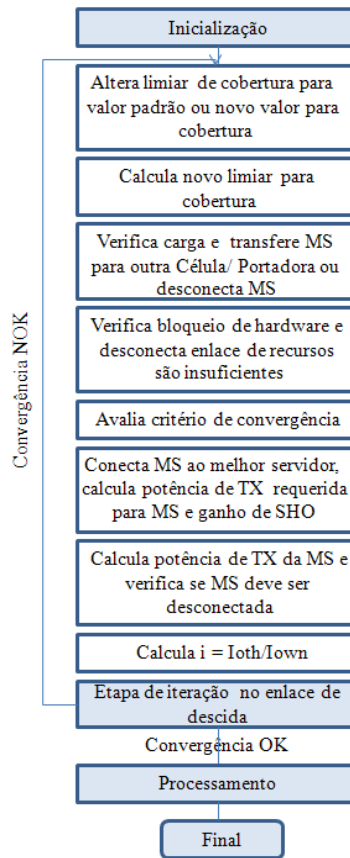


Figura 4.3: Fluxograma de iteração no enlace de subida

A potência de transmissão necessária ($neededMsTxPower(k,n)$) para o móvel n transmitir para a estação rádio base k é determinada a partir da equação a seguir,

$$neededMsTxPower(k,n) = bsSensitivity(k) + linklossUL(k,n) \quad (4.10)$$

onde $bsSensitivity(k)$ é a sensibilidade da estação rádio base k (dBm), $linklossUL(k,n)$ é a perda total de propagação do enlace de subida entre o móvel n e estação base k (dB).

O melhor servidor no enlace de subida para o móvel n é então determinado como a estação rádio base que minimiza a equação (4.10). Cumpre ressaltar que este cálculo é feito para um serviço de referência, definido pela taxa de dados e velocidade do móvel. Assim, há necessidade de corrigir a potência de transmissão ($txPowerBase$) para os demais serviços a serem considerados com base na sensibilidade do receptor da ERB. Isto é feito através da equação a seguir,

$$txPowerBase = minMsTxPower + deltaSensitivity \quad (4.11)$$

onde $minMsTxPower$ é a potência mínima da EM e $deltaSensitivity$ é definido por (Wacker et al, 2001),

$$deltasensitivity = \ln 2 \log \left(\frac{\nu_{UL} \left(1 + \frac{W}{\nu_{UL} \cdot \log 2 \ln (refEbN_0) \cdot refR} \right)}{\nu_{UL}(i) \left(1 + \frac{W}{\nu_{UL}(i) \cdot \log 2 \ln [msEbN_0 UL(i)] msRUL(i)} \right)} \right) \quad (4.12)$$

onde W é a taxa de chip; $\nu_{UL}(i)$ é o fator de atividade do móvel i no enlace de subida; ν_{UL} é o fator de atividade no enlace de subida do serviço de referência; $refEbN_0$ é a E_b/N_0 do serviço de referência, calculada a partir de tabelas de nível de desempenho do enlace causando $refR$ e $refSpeed$ que são a taxa de dados de referência e a velocidade aplicada para calcular a sensibilidade para o serviço de referência; $msEbN_0 UL(i)$ é a E_b/N_0 do móvel no enlace de subida e $msRUL(i)$ é a taxa de dados do móvel i no enlace de subida.

A potência de transmissão de todos os móveis é calculada considerando em primeiro lugar, o ganho proveniente do *soft handover* no enlace de subida para a potência recebida da própria célula,

$$msTxPower = txPowerBase - SHOgainRx \quad (4.13)$$

onde $SHOgainRx$ é o ganho devido o *soft handover* a partir de simulações do nível do enlace, dependendo da diferença de nível entre o enlace mais forte e segundo enlace mais forte no conjunto ativo. Em segundo lugar, a potência recebida ($msTxPowerRaised$) de outras células nos cálculos de interferência é determinada por,

$$msTxPowerRaised = txPowerBase + (msTxPowerRaise - SHOgainTx) \quad (4.14)$$

onde $msTxPowerRaise$ é o aumento médio da potência de transmissão devido ao controle rápido de potência; e $SHOgainTx$ é a redução deste aumento de potência devido ao *soft handover*.

Em terceiro lugar, a potência de transmissão ($msTxPowerPeak$), incluindo a margem de desvanecimento rápido é calculada de acordo com a equação (4.15). Esta potência é necessária para verificar se o móvel tem potência suficiente ou tem de ser desconectado,

$$msTxPowerPeak = txPowerBase + (msHeadRoom - SHOgainPeak) \quad (4.15)$$

onde $msHeadRoom$ é a margem de desvanecimento rápido necessária na borda da célula para que o controle rápido de potência possa acompanhar o desvanecimento e é calculada através das simulações do nível do enlace levando em conta a velocidade da EM. O termo $SHOgainPeak$ é a redução dessa margem devido ao ganho de *soft handover* e também é determinada através do cálculo do nível de enlace levando em conta a velocidade da EM e a diferença entre primeiro e o segundo enlaces com sinal mais forte pertencentes ao conjunto ativo da EM.

4.2.2.2 Cálculo da potência de transmissão no enlace de descida

De forma semelhante ao enlace de subida, o objetivo da iteração no enlace de descida é atribuir a potência de transmissão à estação rádio base para cada enlace (incluindo as conexões de *soft handover*), até que todos os móveis recebam seu sinal com a C/I requerida.

Um fluxograma dos passos de iteração consta da figura 4.4 e os detalhes de cálculo serão descritos a seguir.

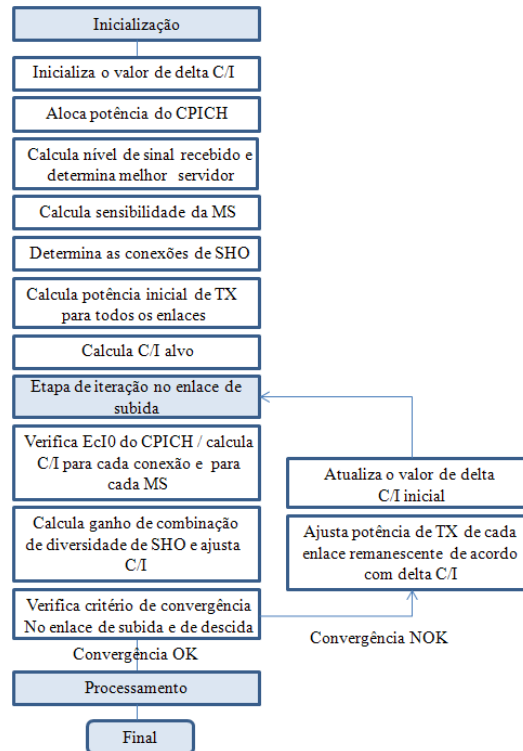


Figura 4.4: Fluxograma de iteração no enlace de descida

A potência de transmissão necessária para todos os enlaces de *soft handover* no enlace de descida é calculada através de ajustes iterativos na potência inicialmente atribuída aos enlaces. Os seguintes passos devem ser seguidos para a alocação inicial da potência de transmissão:

- Calcula-se a sensibilidade do móvel com base na avaliação do cálculo de enlace;
- Calcula-se a potência inicial de transmissão para o enlace com melhor sinal no conjunto ativo;
- Calcula-se a potência inicial de transmissão para os demais enlaces no conjunto ativo.

A sensibilidade do móvel (*msSensitivity*) é calculada ajustando-se a sensibilidade da estação rádio base com melhor sinal, pela diferença de valores necessários de E_b/N_0 do enlace de subida e de descida de acordo com as equações (4.16) e (4.17),

$$msSensitivity = bsSensitivity(bestServerDL) - EbNoCorrectionFactor \quad (4.16)$$

onde *bsSensitivity(bestServerDL)* é a sensibilidade da estação rádio base com melhor sinal no enlace de descida e,

$$EbNoCorrectionFactor = - deltaSensitivity - (msEbNoDL - msEbNoUL) \quad (4.17)$$

onde *msEbNoUL* e *msEbNoDL* correspondem à relação E_b/N_0 requerida nos enlaces de subida

e descida e *deltaSensitivity* é a sensibilidade da estação rádio base com melhor sinal no enlace de descida.

Em seguida, atribui-se a potência de transmissão inicial de cada conexão do móvel m . Em primeiro lugar, atribui-se a potência necessária para a conexão com a melhor estação rádio base. Esta potência de transmissão ($txPower_m$) é dada por,

$$txPower_m = msSensitivity_m + linklossDL(bestServerDL, m) \quad (4.18)$$

onde $msSensitivity_m$ é a sensibilidade do móvel m e $linklossDL(bestServerDL, m)$ é a perda total de propagação no enlace de descida entre o móvel e seu melhor servidor (estação rádio base).

Após a potência de transmissão da conexão dominante ser atribuída, define-se a potência de transmissão para as outras conexões de *soft handover* de cada móvel. Essa potência de transmissão é ajustada pela diferença entre a potência do P-CPICH da estação rádio base onde o enlace está localizado e do melhor servidor, ambas em dBm, de acordo com a equação a seguir,

$$txPower_{m,k} = txPower_m + CPICHPower(k) - CPICHPower(bestServerDL) \quad (4.19)$$

onde $txPower_{m,k}$ é a potência de transmissão do enlace entre a célula k e o móvel m ; $txPower_m$ é a potência de transmissão da melhor estação rádio base para o móvel m ; $CPICHPower(k)$ é a potência do P-CPICH da estação rádio base k ; e $CPICHPower(bestServerDL)$ é a potência de do P-CPICH do melhor servidor no enlace de descida.

Após ser atribuída a potência de transmissão inicial de cada conexão no enlace de descida, a C/I requerida (*targetCI*) para cada móvel é calculada por,

$$targetCI = \frac{EbN_{0MS}}{\frac{W}{R}} \quad (4.20)$$

onde EbN_{0MS} é a E_b/N_0 requerida do móvel que depende da velocidade do móvel e do serviço. A E_b/N_0 é definida através dos cálculos de nível do enlace e, uma vez que é conhecida, e também a situação de interferência e condições do canal são conhecidas, torna-se possível calcular a potência mínima que deve ser recebida para uma conexão entre a ERB e a EM.

A $(C/I)_m$ recebida no móvel m é calculada usando a regra de combinação de razão

máxima (MRC – *Maximum Ratio Combiner*). Cumpre ressaltar que o MRC é um procedimento utilizado no processo de diversidade que, antes de somar os sinais a serem combinados, pondera suas amplitudes por um valor proporcional à relação entre o nível de tensão do sinal recebido e a potência de ruído associada. Pode ser considerada ótima para canais com desvanecimento Rayleigh, pois maximiza a relação sinal ruído instantânea na saída do combinador e, portanto, minimiza a probabilidade de erro na decisão posterior.

Dessa forma, a $(C/I)_m$ é calculada de acordo com a equação (4.21), somando os valores de C/I de todos os enlaces k ($k = 1, \dots, K$) em uso pelo móvel m ,

$$\left(\frac{C}{I}\right)_m = \sum_{k=1}^K \frac{\rho_{km}/Lp_{km}}{(1-\alpha_k) \cdot P_k/Lp_{km} + I_{oth,k} + N_m} \quad (4.21)$$

onde P_k é a potência de transmissão total da estação rádio base com a qual o enlace k é estabelecido; Lp_{km} é a perda de propagação entre a célula k e o móvel m ; α_k é o fator de ortogonalidade específico da células; p_{km} é a potência alocada ao enlace entre o móvel m e a estação rádio base k ; $I_{oth,k}$ é a interferência de outras células, e N_m é o ruído de fundo do receptor do móvel m .

A potência de transmissão inicial é ajustada iterativamente de acordo com a diferença entre a C/I medida e a C/I alvo, até que o valor de convergência seja alcançado. O processo requer iteração, uma vez que a C/I de cada móvel depende da potência atribuída aos outros móveis e não se sabe a princípio se uma ligação pode ser estabelecida ou não. Se o limite de potência de certo enlace ou se a potência total de transmissão de uma estação rádio base é excedida, o móvel faz um *inter-frequency handover* ou é desconectado aleatoriamente. Em cada etapa, para cada móvel, é verificado se o valor de E_c/I_0 do P-CPICH recebido está acima do limiar definido pelo usuário para que o móvel possa sincronizar-se com a estação rádio base. Também neste caso, se o limite indicado for ultrapassado, o móvel tenta um *inter-frequency handover* ou é desconectado.

4.2.3 Cálculo de Interferência no Canal Adjacente

A influência da ACI, a partir da própria rede ou de rede de outra operadora na mesma área, é levada em conta pela filtragem desse tipo de interferência com um filtro que depende da separação de canais. Nos enlaces de subida e de descida, a filtragem de portadoras adjacentes é implementada de forma independente nos enlaces de subida e de descida.

4.2.3.1 Cálculo da ACI no enlace de subida

No enlace de subida, um filtro para o móvel foi implementado indicando a radiação fora da faixa (*aciFilterUL*). Esse filtro é usado para indicar o quanto de potência do móvel está afetando a faixa de recepção de outra portadora (*ACLR*). Para a estação rádio base no enlace de subida, outro filtro (*acpFilterUL*) foi implementado. Este filtro indica a seletividade do receptor da estação rádio base em uma situação multi-portadora, ou seja, o quanto da potência do canal adjacente é recebida pela estação rádio base como potência de ACI. A configuração deste filtro também depende da separação entre portadoras. A situação da ACI no enlace de subida está representada na figura 4.5.

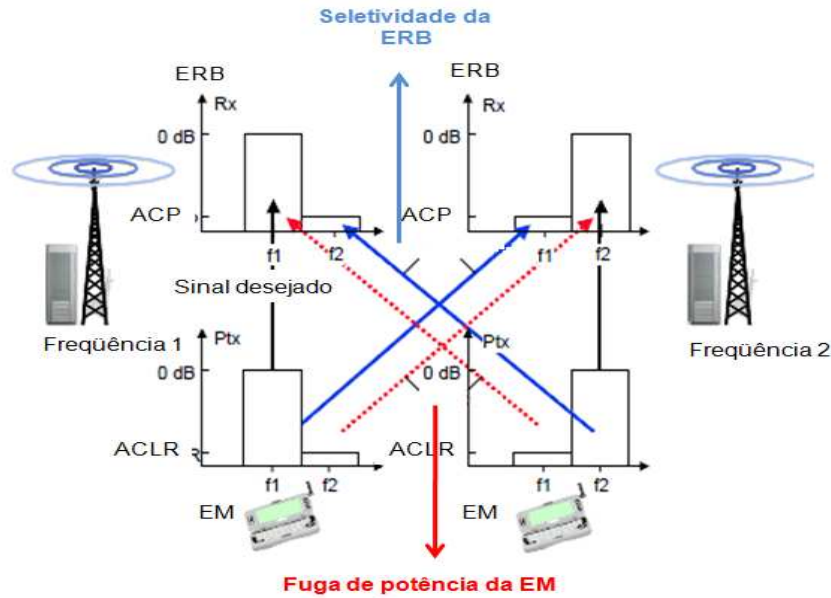


Figura 4.5: ACI no enlace de subida

Nas simulações estes dois filtros são combinados em um único filtro conforme a equação a seguir,

$$acFilterUL = -10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{aciFilterUL}{10}} + 10^{\frac{acpFilterUL}{10}} \right) \quad (4.22)$$

A carga η na estação rádio base a partir dos níveis de interferência existentes e do ruído térmico é dada por,

$$\eta = \frac{I_{own} + I_{oth} + I_{ACI}}{I_{own} + I_{oth} + I_{ACI} + N} \quad (4.23)$$

onde I_{own} é a interferência das estações móveis da própria célula; I_{oth} é a interferência das estações móveis de outras células; I_{ACI} é a interferência de uma portadora adjacente, e N é o

ruído de fundo recebido.

4.2.3.2 Cálculo da ACI no enlace de descida

Também no enlace de descida, um tipo similar de filtragem é introduzido. Um filtro para a estação rádio base foi implementado indicando a radiação fora da faixa da estação rádio base (*AciFilterDL*). Este filtro é usado para mostrar o quanto de potência da estação rádio base está afetando a faixa de recepção de outra portadora (*ACLR*). A configuração do filtro depende da separação entre as portadoras. Para o móvel, outro filtro foi aplicado (*acpFilterDL*). Este filtro indica a seletividade do receptor do móvel em uma situação multi-portadora, ou seja, quanto da potência de ACI é recebida pelo móvel. Além disso, a configuração deste filtro depende da separação entre as portadoras. A situação ACI no enlace de descida é representada na figura 4.6.

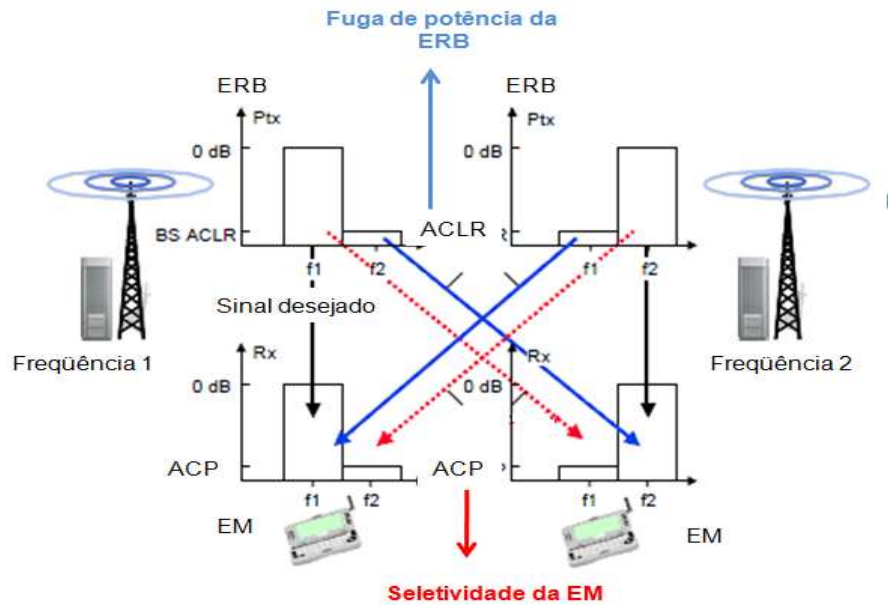


Figura 4.6: ACI no enlace de descida

Nas simulações estes dois filtros são combinados em um único filtro conforme a equação a seguir,

$$acFilterDL = -10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{\alpha FilterDL}{10}} + 10^{\frac{acpFilterDL}{10}} \right) \quad (4.24)$$

A interferência de uma portadora adjacente (I_{ACI}) no enlace de descida é tida em conta no cálculo da C/I para um móvel de acordo com a equação abaixo,

$$\left(\frac{C}{I}\right)_m = \sum_{k=1}^K \frac{\rho_{km}/Lp_{km}}{(1-\alpha k).Pk/Lp_{km} + I_{oth,k} + I_{ACI} + N_m} \quad (4.25)$$

onde I_{oth} é a interferência de outras células na mesma portadora; I_{ACI} é definida pelo valor de referência para a ACI e as demais variáveis já foram definidas anteriormente.

4.2.4 Estimativa da carga no enlace de subida

A sensibilidade da estação rádio base ($bsSensitivity$), ou seja, a potência do sinal necessária no receptor para o serviço de referência é calculado por,

$$bsSensitivity = BS_noise_power + 10.\log_{10} \left(\frac{1}{\nu UL \cdot \left(1 + \frac{W}{\nu UL \cdot \log 2lin(refEbNo)refR} \right) \cdot (1-\eta)} \right) \quad (4.26)$$

onde BS_noise_power é o ruído de fundo incluindo a figura de ruído N_f ; νUL , $refEbNo$ e $refR$ são, respectivamente, a atividade de serviço, a E_b/N_0 e a taxa de bits do serviço de referência, e η é a carga no enlace de subida calculado de acordo com a equação (4.23). Os itens de interferência necessários no cálculo de carga são,

$$I_{own,m} = \sum_{k, bestServer(k)=m} \frac{\nu k \log 2lin(msTxPower_k)}{Lp_{k,m}} \quad (4.27)$$

$$I_{oth,m} = \sum_{k=1, bestServer(k) \neq m} \frac{\nu k \cdot \log 2lin(msTxPowerRaised_k)}{Lp_{k,m}} \quad (4.28)$$

$$I_{ACI,m} = \sum_j \frac{\nu k \cdot \max[\log 2lin(-acFilterUL), \log 2lin(msTxPowerRaised_k), \log 2lin(acMinPowUL)]}{Lp_{k,m}} \quad (4.29)$$

No cálculo de capacidade, o simulador utiliza alguns critérios para determinar os usuários atendidos e não atendidos. Os móveis podem ser movidos para outra célula (*soft/softer handover*) ou desconectados devido o excesso de carga no enlace de subida. Se o

limite de carga da célula previamente definido for excedido, é feita uma redução do número de usuários até que a carga chegue ao limite máximo especificado.

O simulador utiliza três estratégias para redução da carga: a) se existe pelo uma estação rádio base com carga excedida, a carga é reduzida transferindo aleatoriamente alguns móveis para outra portadora; b) se a carga de pelo menos uma estação ou se a carga total excede os limites, a carga é reduzida para todas essas estações em questão fazendo com que os móveis conectados a cada estação em particular sejam transferidos para outra portadora de acordo com sua potência de transmissão, começando pelo móvel com maior potência e c) se a carga de pelo menos uma estação ou se a carga total excede os limites, a carga é reduzida para todas essas estações em questão fazendo com que uma determinada proporção dos móveis, conectados a cada estação em particular, sejam transferidos para outra portadora.

O bloqueio de *hardware*, ou seja, a limitação de canais físicos, também é um critério de exclusão dos móveis. O *hardware*, nesta conexão, identifica onde existem elementos de canal suficientes e códigos disponíveis. Os canais dos setores de uma estação rádio base compõem um conjunto de recursos que os móveis conectados a essa estação podem utilizar. Caso exista um número muito grande de enlaces, os enlaces adicionais são removidos durante a iteração no enlace de subida e todos os móveis que usam esse enlaces são excluídos. Além disso, os móveis também são excluídos se sua potência de transmissão exceder o valor máximo de potência que podem transmitir.

4.2.5 Estimativa da carga no enlace de descida

Quando a potência de transmissão de todos os enlaces do enlace de descida for atribuída, a C/I de cada móvel é calculada. No entanto, antes que isso possa ser feito deve-se verificar se as condições de carga no enlace de descida foram atendidas. Dois critérios podem ser verificados:

- a potência máxima permitida para cada enlace na rede. A definição exata da potência máxima do enlace é especificada pelo fornecedor;
- a potência total de transmissão (incluindo a potência para os canais comuns) em todas as células, também definida pelo fornecedor.

Caso a primeira condição seja violada, o enlace não pode ser estabelecido e deve ser descartado. Se a segunda condição é violada, enlaces suficientes devem ser descartados até

que a potência total de transmissão seja suficientemente baixa.

Depois do problema de controle de carga ter sido tratado, o próximo passo é a estimativa de interferência e níveis de recepção para cada conexão. A interferência da própria célula, I_{ownDL} , e de outras células, I_{othDL} , são estimadas separadamente. A I_{othDL} inclui tanto as interferências provenientes de outras células da própria operadora quanto interferência provenientes de células de outra operadora ou portadora. Cada conexão de *soft handover* é ortogonal apenas em relação à própria célula. A seguir, os cálculos necessários para um enlace, ou seja, para um móvel k conectado a uma estação rádio base m são mostrados.

A potência de recepção do enlace é dada por,

$$msRxPowerLin_{m,k} = \frac{P_{m,k}}{linklossDL_{m,k}} \quad (4.30)$$

e a interferência da própria célula por,

$$I_{ownD}_{m,k} = (1 - \alpha_k) \cdot \frac{P_{tot,m}}{linklossDL_{m,k}} \quad (4.31)$$

onde k é o fator de ortogonalidade do móvel k ; $P_{m,k}$ é a potência de transmissão; $linklossDL_{m,k}$ é a perda de propagação entre a estação rádio base m e o móvel k e $P_{tot,m}$ é a potência de transmissão total da estação rádio base m incluindo o P-CPICH e outros canais comuns.

Ao calcular a interferência de outras fontes, $I_{othDL}_{m,k}$, devem ser levadas em conta a interferência a partir de outras células da mesma frequência, bem como de outras frequências (provenientes tanto da própria rede ou da rede de outra operadora). A equação (4.31) mostra uma possibilidade de solução, onde apenas outra frequência de operadora vizinha está presente. A interferência de outras células para o móvel k na estação rádio base m da operadora/portadora 1, torna-se,

$$I_{othDL}_{m,k} = \sum_{i=indBStype1(numBStype1); i \neq m}^{indBStype1(numBStype1)} \frac{P_{tot,i}}{linklossDL_{i,k}} + \sum_{i=indBStype2(1)}^{indBStype2(numBStype2)} \frac{\max\{\log 2lin(-acFilterDL(channelOffset)P_{tot,i}, acMinPowDL)\}}{linklossDL_{i,k}} \quad (4.32)$$

onde $P_{tot,i}$ é a potência de transmissão total das estações rádio base i de uma operadora, incluindo o P-CPICH e outros canais comuns; $linklossDL_{i,k}$ é a perda de propagação no enlace entre a estação rádio base i e o móvel k ; $acMinPowDL$ é o nível da potência

interferente que é mínima vindo de estações rádio base de outras operadoras; *acFilterDL* é especificado pela equação (4.24); *numBStype1* e *numBStype2* são os números de estações rádio base das operadoras/portadoras 1 e 2, respectivamente, e *indBStype1* e *indBStype2* são os índices de estações rádio base da operadora/portadora 1 e 2, respectivamente.

Agora, a matriz de C/I pode ser calculada, mantendo todos os valores de C/I para todos os enlaces entre os móveis *k* e as estações rádio base *m*,

$$C_over_I_all_{m,k} = \frac{msRxPowerLin_{m,k}}{IownDL_{m,k} + IothDL_{m,k} + MS_noise_power_lin} \quad (4.33)$$

sendo,

$$MS_noise_power_lin = \log 2lin(Thermal_noise_density + MS_noise_figure).W \quad (4.34)$$

onde *MS_noise_figure* é a figura de ruído na EM e *Thermal_noise_density* é a densidade de ruído térmico.

Por fim,

$$C_over_Ik = \sum_{i=1}^{connSHO} (C_over_I_all_{i,k}) \quad (4.35)$$

Após o cálculo da C/I para cada móvel, o ganho devido à combinação de diversidade de *soft handover* é calculado a partir da tabela de desempenho do nível do enlace de acordo com o serviço (velocidade do terminal e taxa de dados) que o móvel está usando e a diferença relativa entre os dois sinais P-CPICH recebidos mais fortes no conjunto ativo. O resultado é armazenado no vetor *msSHOGainsDL* (dB).

C_over_I_k é comparado com o *targetCI_k*, do qual o ganho de *soft handover* é subtraído, conforme a equação a seguir,

$$deltaCI_k = (targetCI_k - msSHOGainsDL_k) - C_over_Ik \quad (4.36)$$

e a potência de transmissão da estação rádio base *m* para o móvel *k* é corrigida pelo *deltaCI_k* com base na equação a seguir,

$$bsTXPower_{m,k} = bsTxPower_{m,k} + deltaCI_k \quad (4.37)$$

Os cálculos de *deltaCI* e correções de potência são repetidos até o valor máximo

deste termo ser inferior a um limite especificado.

No cálculo de capacidade, o simulador utiliza alguns critérios para determinar os usuários atendidos e não atendidos. No enlace de descida há basicamente dois critérios. Primeiramente o enlace entre cada móvel e uma determinada estação rádio base é analisado. Se o enlace exceder o limite de carga especificado é excluído temporariamente e se essa situação se repetir um determinado número de vezes até chegar a um limite definido, o enlace é excluído definitivamente e também todos os móveis que utilizam esse enlace. A seguir, é avaliada a potência total de transmissão da estação e, se esta exceder o limite definido, os enlaces dessa estação são excluídos de acordo com o método de redução de potência escolhido. Os enlaces podem ser excluídos das células onde a potência de transmissão total é excedida de forma aleatória, ou são excluídos os que utilizam maior potência ou, como uma terceira estratégia, os móveis que utilizam menor potência podem ser excluídos.

4.2.6 Estimativa da Probabilidade de Cobertura

A estimativa da probabilidade de cobertura é realizada após a situação de interferência ter sido estabilizada. Essa estimativa é definida como a proporção da área escolhida onde o móvel consegue obter o serviço. Para realização desse cálculo são levados em conta a velocidade do móvel, a taxa de bit de cada serviço, a E_b/N_0 requerida e a potência máxima de transmissão do móvel.

Calcula-se a potência de transmissão requerida para atingir uma determinada meta de cobertura definida e o resultado é comparado com o limite definido para cada ponto na área escolhida. Se o valor excede o valor requerido em um determinado ponto, este é excluído. A probabilidade de cobertura é calculada pelo número de pontos não excluídos dividido pelo número total de pontos da área escolhida.

No caso da cobertura para o canal dedicado no enlace de subida, realiza-se uma estimativa se o usuário consegue obter o serviço com a sua potência mínima de transmissão para cada ponto do mapa e determina qual é o setor que melhor serve esse usuário. Os locais onde a potência de transmissão do melhor servidor não é suficiente para o móvel obter o serviço é mostrada em preto significando que nesses locais não há cobertura. Calcula-se a proporção da área selecionada onde o móvel consegue obter o serviço e o resultado é a probabilidade de cobertura. Como exemplo do gráfico de cobertura no enlace de subida gerado pelo simulador, mostrado na figura 4.7, observa-se que em cada ponto do mapa é

indicado o setor que é o melhor servidor em determinado local, onde cada setor é representado por uma cor conforme a legenda apresentada. Essa definição é feita com base na potência mínima de transmissão dos móveis.

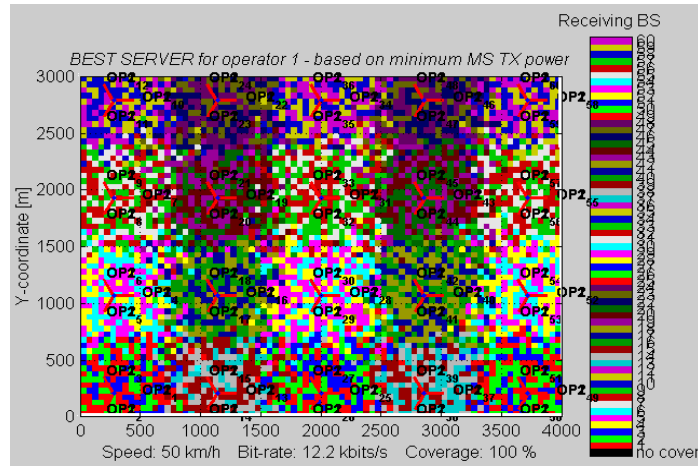


Figura 4.7: Gráfico de cobertura para o canal dedicado no enlace de subida

No caso da cobertura para o canal dedicado no enlace de descida, para cada ponto do mapa, calcula-se a potência requerida por enlace para a estação que é a melhor servidora. Os pontos do mapa onde a potência necessária para alcançar a meta de cobertura especificada excede a potência máxima do enlace são mostrados em preto significando que nesses pontos não há cobertura. Calcula-se, então, a proporção da área selecionada onde o móvel consegue obter o serviço e o resultado é a probabilidade de cobertura. Como exemplo do gráfico de cobertura no enlace de descida gerado pelo simulador, mostrado na figura 4.8, observa-se que em cada ponto do mapa é indicada a potência de transmissão requerida por enlace e cada cor representa um nível de potência em dBm.

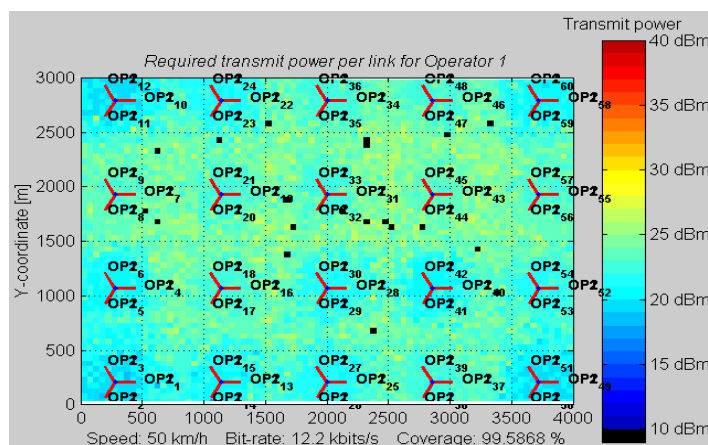


Figura 4.8: Gráfico de cobertura para o canal dedicado no enlace de descida

5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O desempenho do sistema WCDMA depende da interferência interna e da interferência causada por canais adjacentes quando duas ou mais operadoras atuam na mesma área geográfica. Com base no *software* NPSW descrito anteriormente, este Capítulo apresenta simulações realizadas com objetivo de avaliar o efeito da interferência nas redes que utilizam o sistema WCDMA. Inicialmente, faz-se um estudo visando definir procedimentos que permitam otimizar uma rede isoladamente. A seguir, a partir da orientação dada pelo estudo de otimização, procura-se avaliar o impacto da interferência de canal adjacente (ACI) no desempenho desta rede.

5.1 ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO

A otimização realizada nesta Seção teve por objetivo estimar a quantidade máxima de usuários atendidos por uma rede WCDMA em função dos seguintes parâmetros das antenas das estações rádio base: a) Relação ótima entre a largura do feixe das antenas e o número de setores da célula; b) Ângulo ótimo de inclinação do feixe das antenas. Em ambos os casos, considerou-se a rede operando apenas com serviço de voz a 12,2 kb/s e com serviços de voz e dados com taxas de 12,2 e 144kb/s, respectivamente. Adicionalmente, foi feita uma avaliação da introdução de um MHA no receptor das estações radio base. Foi escolhido um ambiente urbano, na frequência de 2100 MHz, para realização das simulações referentes a este estudo de otimização. Os parâmetros de entrada para o *software* NPSW estão mostrados na Tabela 5.1. Os demais parâmetros necessários para os cálculos de sistema constam do citado *software* e estão relacionados na Tabela 5.2. Na rede planejada com estes dados foram consideradas 15 células, correspondendo a uma área de 13,5 km², na qual os usuários móveis distribuem-se

uniformemente e com uma distância de 860 metros entre as estações rádio base. A Figura 5.1 ilustra o ambiente da simulação.

Parâmetro	Valor	Unidade
Elevação do terreno para EM e ERB	0	m
Altura da antena EM	1,5	m
Potência máxima de transmissão da EM	21	dBm
Potência mínima de transmissão da EM	-43	dBm
Ganho da antena da EM	0	dBi
Taxa do serviço voz	12,2	kb/s
Taxa do serviço de dados	144	kb/s
Velocidade da EM para serviço de voz	50	Km/h
Velocidade da EM para serviço de dados	3	Km/h
Perda causada pela proximidade do corpo	2	dB
Altura da antena ERB	50	m
Potência total de transmissão máxima permitida para ERB para todos os canais	43	dBm
Potência máxima de transmissão da ERB permitida por enlace (para DTCH)	40	dBm
Potência de transmissão da ERB para o CPICH	30	dBm
Perda nos cabos	3	dB
Carga máxima	75	%

Tabela 5.1 - Parâmetros de entrada

Parâmetro	Valor	Unidade
Modelo de Propagação Okumura-Hata	-	-
Taxa de <i>Chip</i>	3,84	MHz
Ganho de processamento no CPICH	27	dB
Figura de ruído da ERB	5	dB
Figura de ruído da EM	8	dB
Densidade de ruído térmico	-174	dBm/Hz
Elementos de Canal por célula (<i>channel elements</i>) - <i>hardware</i> responsável pelo tratamento da codificação dos canais	172	-
CPICH E_c/I_0 (limite mínimo para conseguir medir o canal CPICH)	-18	dB
BCH E_b/N_0 (valor mínimo para conseguir decodificar informação do BCCH)	5	dB

Tabela 5.2 - Parâmetros definidos no software NPSW

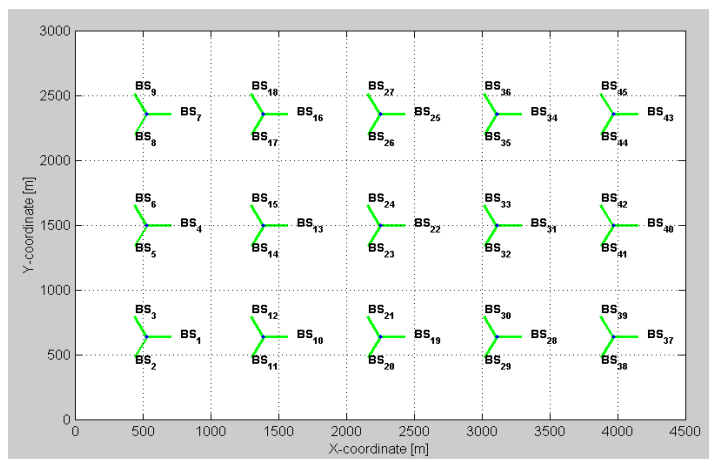


Figura 5.1 - Ambiente de simulação de otimização

Cumpra informar que a utilização do modelo de propagação de Okumura-Hata para a implementação da rede em 2100 MHz extrapola os limites de frequência do modelo. Porém, devido a falta de informações necessárias para utilização de outros modelos mais precisos, este modelo foi escolhido para realização das simulações de cálculo de enlace. No entanto, a extrapolação do limite de frequência é aceitável neste caso conforme indicado nas referências utilizadas neste trabalho.

5.1.1 Ganho de Setorização

As Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam o número total de usuários atendidos nos cenários avaliados. Considerou-se 3 (três) valores típicos para a largura do feixe das antenas: 33°, 65° e 90°. Com base nestas tabelas pode-se concluir que:

- a) O número de usuários atendidos aumenta com o número de setores;
- b) Existe uma largura ótima para o feixe das antenas que depende do número de setores e do serviço considerado. No caso, verifica-se que:
 - i) Para 3 ou 6 setores com serviços de voz, a largura ótima é de 33°;
 - ii) Para 4 setores com serviço de voz, a largura ótima é de 65°;
 - iii) Para 3, 4 ou 6 setores com serviços de voz e dados, a largura ótima é de 33°.

Uma vez que para 4 setores com serviço de voz não há uma diferença significativa entre as larguras de 33° e 65° (inferior a 5%), a primeira pode ser tomada como referência para o planejamento de sistemas.

Cenários	Qtde Usuários atendidos	Qtde Usuários por célula	Ganho Setorização
Omni	297	19,8	
3 setores, largura de feixe 33°	1342	89,47	4,52%
3 setores, largura de feixe 65°	1321	88,07	4,45%
3 setores, largura de feixe 90°	1018	67,87	3,43%
4 setores, largura de feixe 33°	1375	91,67	4,63%
4 setores, largura de feixe 65°	1444	96,27	4,86%
4 setores, largura de feixe 90°	1133	75,53	3,81%
6 setores, largura de feixe 33°	1670	111,33	5,62%
6 setores, largura de feixe 65°	1557	103,8	5,24%
6 setores, largura de feixe 90°	1188	79,2	4,00%

Tabela 5.3 - Quantidade de usuários atendidos pela rede (serviço de voz)

Cenários	Qtde Usuários atendidos	Qtde Usuários por célula	Ganho Setorização
Omni	71	4,73	
3 setores, largura de feixe 33°	687	45,8	9,68%
3 setores, largura de feixe 65°	477	31,8	6,72%
3 setores, largura de feixe 90°	199	13,27	2,80%
4 setores, largura de feixe 33°	749	49,93	10,55%
4 setores, largura de feixe 65°	636	42,4	8,96%
4 setores, largura de feixe 90°	266	17,73	3,75%
6 setores, largura de feixe 33°	952	63,47	13,41%
6 setores, largura de feixe 65°	682	45,47	9,61%
6 setores, largura de feixe 90°	393	26,2	5,54%

Tabela 5.4 - Quantidade de usuários atendidos pela rede (serviços de voz e dados)

Adicionalmente, as Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam o número de usuários atendidos por célula. Esta informação foi acrescentada às citadas tabelas com a finalidade de possibilitar o cálculo do ganho de setorização, definido por,

$$\xi = \frac{A}{B} \quad (5.1)$$

onde A é o número de usuários atendidos pelas células setorizadas e B é o número de usuários atendidos pela célula omnidirecional.

5.1.2 Otimização da Inclinação do Feixe da Antena da ERB

Nesse cenário, tendo por base a largura do feixe de 33°, foram simulados os seguintes

valores para o ângulo de inclinação do feixe das antenas: 0°, 4°, 7°, 10° e 14°. As Tabelas 5.5 e 5.6 mostram os resultados obtidos para, respectivamente, os serviços de voz (12,2 kb/s) e voz e dados (12,2 e 144 kb/s). Observa-se nestas tabelas que, independentemente do número de setores e da taxa de transmissão, a inclinação ótima do feixe pode ser tomada como igual a 7°.

Cenários	Qtde Usuários atendidos
Omni	297
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 0°	1342
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 4°	1434
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 7°	1485
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 10°	1473
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 14°	1147
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 0°	1375
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 4°	1437
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 7°	1513
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 10°	1502
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 14°	1233
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 0°	1670
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 4°	1622
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 7°	1700
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 10°	1688
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 14°	1350

Tabela 5.5 - Ângulo ótimo de inclinação do feixe (serviço de voz)

Cenários	Qtde Usuários atendidos
Omni	71
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 0°	687
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 4°	816
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 7°	1025
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 10°	902
3 setores, largura de feixe 33°, inclinação 14°	871
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 0°	749
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 4°	904
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 7°	1089
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 10°	991
4 setores, largura de feixe 33°, inclinação 14°	978
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 0°	952
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 4°	1269
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 7°	1419
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 10°	1398
6 setores, largura de feixe 33°, inclinação 14°	1105

Tabela 5.6 - Ângulo ótimo de inclinação do feixe (serviço de voz e dados)

5.1.3 Emprego de MHA nas Estações Rádio Base

Nesse cenário foram feitas simulações para estudar a utilização do MHA no receptor da estação rádio base no enlace de subida para compensar a perda nos cabos reduzindo assim a potência de transmissão necessária nas estações móveis. Considerou-se uma largura do feixe de 33° e ângulos de inclinação iguais a 0° e 7° . Observa-se nas Tabelas 5.7 e 5.8 que para uma inclinação do feixe de 7° a melhora obtida na quantidade de usuários não foi relevante (da ordem ou inferior a 1%). Não havendo inclinação (0°), apenas para células com 3 setores e serviços de voz e dados houve uma melhora significativa (da ordem de 3%). Em vista destes resultados e tendo por referência a inclinação de 7° , pode-se concluir que o uso de um MHA não proporcionou aumento do desempenho da rede no caso do cenário simulado. Isto porque, o ganho considerado de apenas 2 dB, não foi suficiente para que se observasse uma melhoria significativa.

	Inclinação 0°	Inclinação 7°
Cenários	Qtde Usuários atendidos	Qtde Usuários atendidos
3 setores, largura de feixe 33° , com MHA	1347	1486
3 setores, largura de feixe 33° , sem MHA	1342	1485
4 setores, largura de feixe 33° , com MHA	1390	1514
4 setores, largura de feixe 33° , sem MHA	1375	1513
6 setores, largura de feixe 33° , com MHA	1671	1701
6 setores, largura de feixe 33° , sem MHA	1670	1700

Tabela 5.7 - Emprego do MHA (serviço de voz)

	Inclinação 0°	Inclinação 7°
Cenários	Qtde Usuários atendidos	Qtde Usuários atendidos
3 setores, largura de feixe 33° , com MHA	707	1026
3 setores, largura de feixe 33° , sem MHA	687	1025
4 setores, largura de feixe 33° , com MHA	758	1090
4 setores, largura de feixe 33° , sem MHA	749	1089
6 setores, largura de feixe 33° , com MHA	962	1423
6 setores, largura de feixe 33° , sem MHA	952	1419

Tabela 5.8 - Emprego do MHA (serviço de voz e dados)

5.1.4 Consolidação dos resultados numéricos

Concluindo o estudo de otimização, com a finalidade de apresentar um panorama global dos resultados obtidos, As Tabelas 5.9 e 5.10 apresentam a quantidade de usuários atendidos pela rede em função do número de setores (3, 4 e 6), dos ângulos de largura do feixe (33°, 65° e 90°) e da inclinação das antenas (0° e 7°) e da utilização ou não do MHA. Os números constantes destas tabelas corroboram as conclusões estabelecidas anteriormente.

Cenários	Inclinação 0°		Inclinação 7°	
	Qtde Usuários atendidos	Ganho Setorização	Qtde Usuários	Ganho Setorização
Omni, com MHA	330		836	
Omni, sem MHA	297		826	
3 setores, largura de feixe 33°, com MHA	1347	4,08%	1486	1,78%
3 setores, largura de feixe 33°, sem MHA	1342	4,52%	1485	1,80%
3 setores, largura de feixe 65°, com MHA	1321	4,00%	1672	2,00%
3 setores, largura de feixe 65°, sem MHA	1321	4,45%	1670	2,02%
3 setores, largura de feixe 90°, com MHA	1019	3,09%	1686	2,02%
3 setores, largura de feixe 90°, sem MHA	1018	3,43%	1686	2,04%
4 setores, largura de feixe 33°, com MHA	1390	4,21%	1514	1,81%
4 setores, largura de feixe 33°, sem MHA	1375	4,63%	1513	1,83%
4 setores, largura de feixe 65°, com MHA	1444	4,38%	1712	2,05%
4 setores, largura de feixe 65°, sem MHA	1444	4,86%	1711	2,07%
4 setores, largura de feixe 90°, com MHA	1133	3,43%	1711	2,05%
4 setores, largura de feixe 90°, sem MHA	1133	3,81%	1710	2,07%
6 setores, largura de feixe 33°, com MHA	1671	5,06%	1701	2,03%
6 setores, largura de feixe 33°, sem MHA	1670	5,62%	1700	2,06%
6 setores, largura de feixe 65°, com MHA	1557	4,72%	1718	2,06%
6 setores, largura de feixe 65°, sem MHA	1557	5,24%	1718	2,08%
6 setores, largura de feixe 90°, com MHA	1188	3,6%	1717	2,05%
6 setores, largura de feixe 90°, sem MHA	1188	4,0%	1716	2,08%

Tabela 5.9 - Panorama geral dos resultados numéricos (serviço de voz)

Cenários	Inclinação 0°		Inclinação 7°	
	Qtde Usuários atendidos	Ganho Setorização	Qtde Usuários atendidos	Ganho Setorização
Omni, com MHA	107		284	
Omni, sem MHA	71		283	
3 setores, largura de feixe 33°, com MHA	707	6,61%	1026	3,61%
3 setores, largura de feixe 33°, sem MHA	687	9,68%	1025	3,62%
3 setores, largura de feixe 65°, com MHA	515	4,81%	917	3,23%
3 setores, largura de feixe 65°, sem MHA	477	6,72%	858	3,03%
3 setores, largura de feixe 90°, com MHA	207	1,93%	837	2,95%
3 setores, largura de feixe 90°, sem MHA	199	2,80%	812	2,87%
4 setores, largura de feixe 33°, com MHA	758	7,08%	1090	3,84%
4 setores, largura de feixe 33°, sem MHA	749	10,55%	1089	3,85%
4 setores, largura de feixe 65°, com MHA	650	6,07%	1031	3,63%
4 setores, largura de feixe 65°, sem MHA	636	8,96%	990	3,50%
4 setores, largura de feixe 90°, com MHA	276	2,58%	890	3,13%
4 setores, largura de feixe 90°, sem MHA	266	3,75%	877	3,1%
6 setores, largura de feixe 33°, com MHA	962	8,99%	1423	5,01%
6 setores, largura de feixe 33°, sem MHA	952	13,41%	1419	5,01%
6 setores, largura de feixe 65°, com MHA	694	6,49%	1125	3,96%
6 setores, largura de feixe 65°, sem MHA	682	9,61%	1123	3,97%
6 setores, largura de feixe 90°, com MHA	415	3,88%	917	3,23%
6 setores, largura de feixe 90°, sem MHA	393	5,54%	881	3,11%

Tabela 5.10 - Panorama geral dos resultados numéricos (serviço de voz e dados)

5.2 ESTUDO DA INTERFERÊNCIA NO CANAL ADJACENTE

Com a orientação dada anteriormente, pretende-se nesta Seção avaliar o efeito da interferência de canal adjacente quando duas operadoras atuam em uma mesma área geográfica com portadoras separadas por 5 MHz. Foram considerados nas simulações os cenários urbano denso e urbano nas faixas de 2100 e 850 MHz. Esta escolha levou em conta as situações onde há maior concentração de usuários e que, portanto, representam os casos mais desfavoráveis em termos de interferência.

5.2.1 Cenário urbano denso em 2100 MHz

Utilizando o mesmo procedimento de cálculo empregado na Seção anterior, supôs-se uma rede de 20 células com 3 setores cada em uma área de 12 Km². Uma vez que foram utilizados os mesmos parâmetros de sistema, a separação entre as estações rádio base foi de 860m. A rede planejada contempla usuários de serviço de voz a uma taxa de 12,2 kb/s e usuários do serviço de dados a uma taxa de 144 kb/s, os quais foram simulados separadamente. Foi utilizada nos cálculos o valor de 32,7 para ACIR, o qual é recomendado

pelo 3GPP (TR 25.942 v9.0.0, 2009) e que foi justificado no Capítulo 4. Além disso, foi suposta uma carga máxima de 75% nas células como um dos fatores limitantes no cálculo da capacidade.

As Figuras 5.2 e 5.3 mostram a distribuição das estações rádio base das Operadoras 1 e 2 próximas entre si, porém sem atender a condição de co-localização.

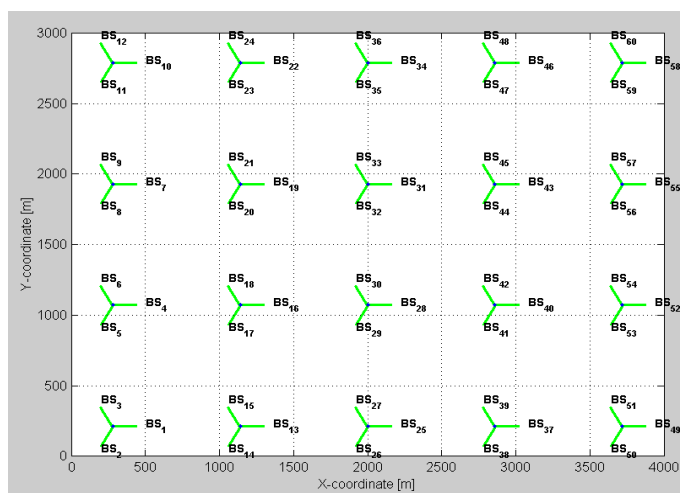


Figura 5.2 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 1

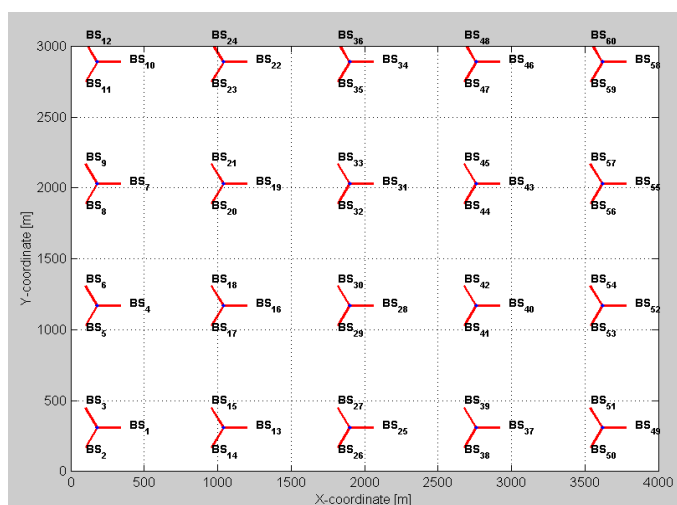


Figura 5.3 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 2

a) Resultados para o serviço de voz a 12,2 kb/s

Para este serviço foi suposto no planejamento inicial da rede 30 usuários por setor, ou seja, um total de 1800 usuários. Primeiramente, a simulação foi feita considerando as operadoras atuando isoladamente. Do total de usuários planejados, a Operadora 1 atende 1510 e a Operadora 2 atende 1464. A seguir, foi feita a simulação com as duas operadoras presentes na mesma área geográfica. Nesta situação, o total de usuários atendidos passa a 1452 pela

Operadora 1 e 1387 pela Operadora 2. Em outras palavras, houve uma redução de 3,84% no atendimento da Operadora 1 e 5,26% na Operadora 2. Em termos operacionais, a redução observada nos dois casos pode ser considerada aceitável (TR 25.942 v9.0.0, 2009). As Figuras 5.4 e 5.5 ilustram graficamente as distribuições de usuários atendidos pelas Operadoras 1 e 2 na presença da interferência de canal adjacente. Cumpre informar que cada pixel em vermelho destas figuras corresponde a 1 usuário.

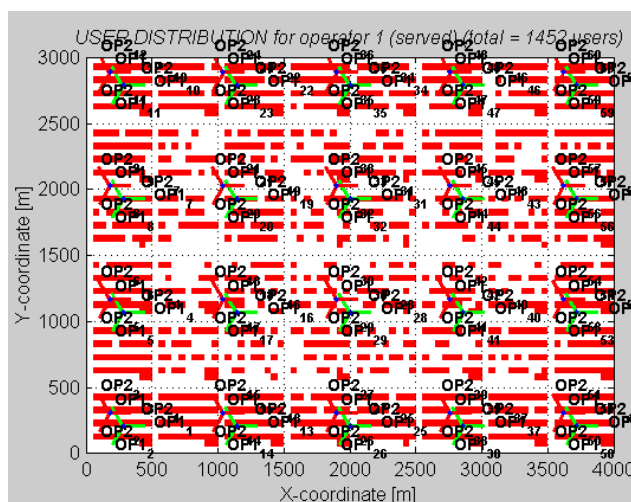


Figura 5.4 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI

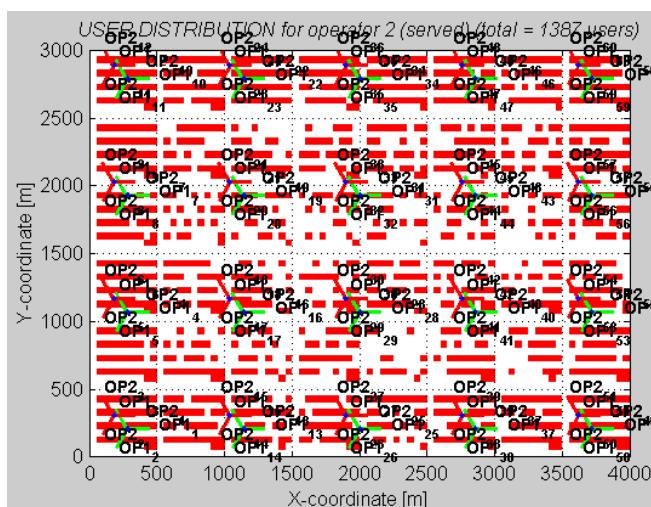


Figura 5.5 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI

Adicionalmente, foram realizadas simulações variando o valor da ACIR. Os gráficos obtidos nas Figuras 5.6 e 5.7 indicam que um valor de ACIR igual a 32,7 dB é suficiente para que a redução de capacidade da rede tenha um nível aceitável, não sendo justificável aumentar este valor. Isto porque uma ACIR maior não iria oferecer um aumento de capacidade significativo em relação à capacidade quando seu valor é de 32,7 dB. Observa-se também que para alguns casos (Figura 5.7) que uma ACIR maior que 32,7 dB não apresenta nenhuma

melhoria. Em casos dessa natureza o fator limitante de capacidade da rede é a capacidade de *hardware*.

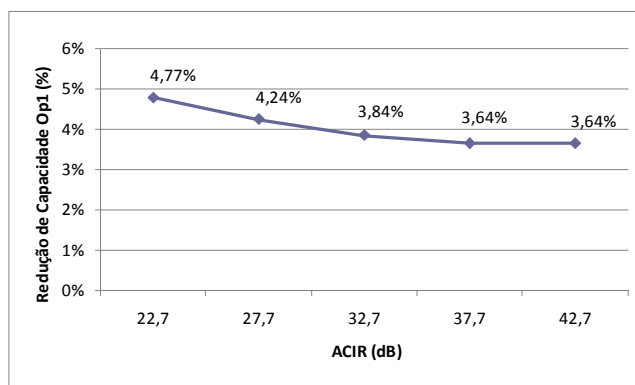


Figura 5.6 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR

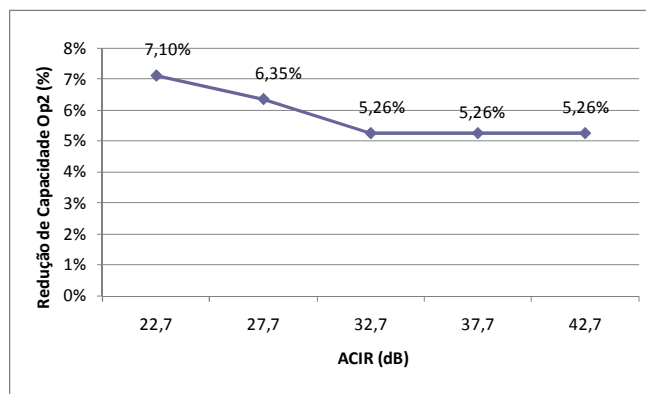


Figura 5.7 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR

A segunda hipótese analisada foi correspondente à co-localização das estações rádio base das duas operadoras utilizando a mesma infra-estrutura de torre ou no topo de um prédio. As Figuras 5.8 e 5.9 mostram a distribuição dos usuários atendidos por cada operadora nesta condição. Observou-se que o número de usuários atendidos nas Operadoras 1 e 2 passou a 1488 e 1414, correspondendo, respectivamente, a uma redução de capacidade 3,84% para 1,46% e de 5,26% para 3,42%. Com este resultado, pode-se concluir que a co-localização mostra-se como uma técnica de planejamento eficiente, reduzindo de modo eficiente o efeito da ACI. No caso em questão, a melhoria situou-se em torno de 2%.

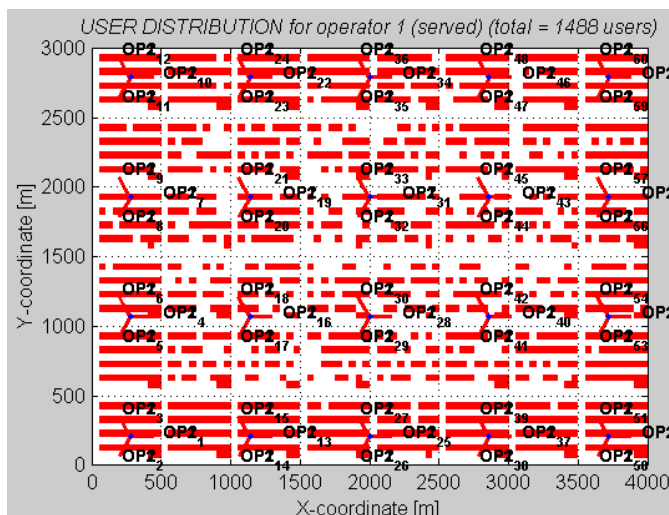


Figura 5.8 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização

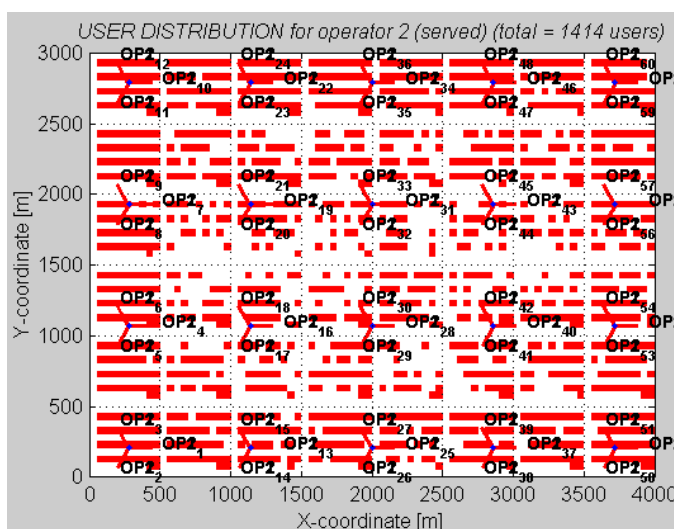


Figura 5.9 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização

Vale acrescentar que o planejamento inicial da rede previa o atendimento de 30 usuários por setor. Observou-se nos cenários simulados que a rede projetada atende, em média, 25 usuários por setor.

Além da capacidade, foi analisada também a influência da ACI na cobertura da rede. Na tabela 5.11 observam-se os valores de percentual de cobertura obtidos para as operadoras isoladamente e na presença de ACI. Conclui-se que não houve mudança significativa na cobertura das Estações Rádio Base.

Cenário	Operadora 1		Operadora 2	
	Enlace subida	Enlace descida	Enlace subida	Enlace descida
Operadoras isoladas	100%	99,32%	99,96%	99,23%
Na presença de ACI	100%	99,73%	99,96%	99,59%

Tabela 5.11 – Cobertura para 12,2 kb/s no cenário urbano denso em 2100 MHz

Pode-se observar que em alguns casos o percentual de cobertura sofre um aumento, porém, não significativo. Esse pequeno aumento pode ocorrer porque a presença da ACI provoca redução da capacidade da rede e, devido o efeito de “respiração celular”, quando a capacidade diminui a carga é reduzida e a estação rádio base volta a atender uma área maior.

As Figuras 5.10 a 5.17 mostram graficamente a cobertura estimada para os diversos cenários considerados.

Nas Figuras 5.10, 5.12, 5.14 e 5.16 a tabela de cores à direita identifica os setores que têm o melhor nível de sinal, ou seja, são considerados como melhor servidor, em cada ponto do mapa. O cálculo para escolha do melhor servidor em cada ponto é baseado na potência mínima de transmissão das EM. Nos casos onde o nível de sinal mínimo que a EM precisa receber não for atendido por nenhum setor, ou seja, não há cobertura, os pontos do mapa onde esta situação ocorre são mostrados em preto.

Nas Figuras 5.11, 5.13, 5.15 e 5.17 esta interpretação é simples, uma vez que a tabela de cores à direita indica a potência da ERB em dBm que é mostrada em cada ponto do mapa. O cálculo da probabilidade de cobertura é feito com base no nível mínimo de potência que deve ser transmitido pela ERB para atingir um valor alvo de 95% de cobertura. Nos pontos onde o nível de sinal transmitido pela ERB não atinge esse valor mínimo para alcançar o alvo, considera-se que não há cobertura e esses pontos são mostrados em preto.

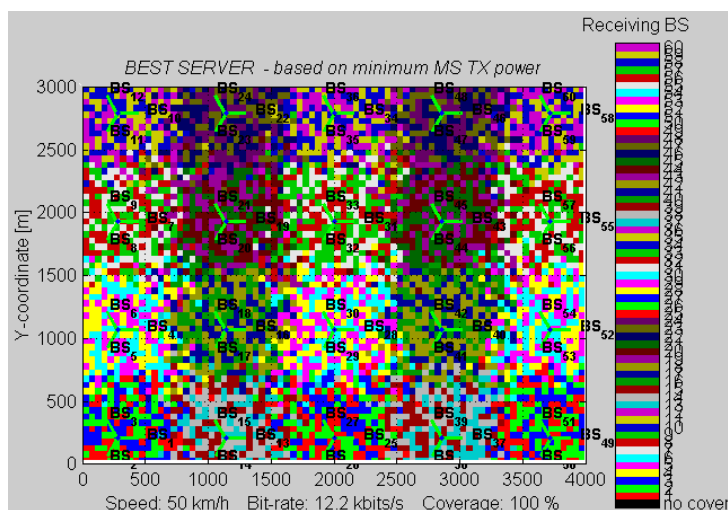


Figura 5.10 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 isolada

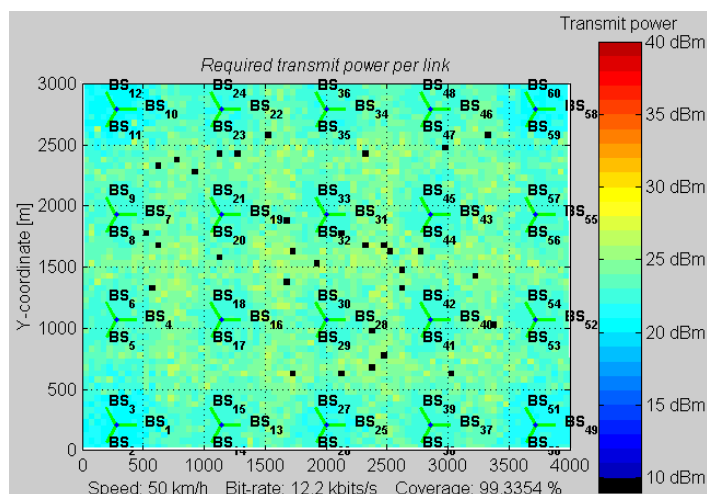


Figura 5.11 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 isolada

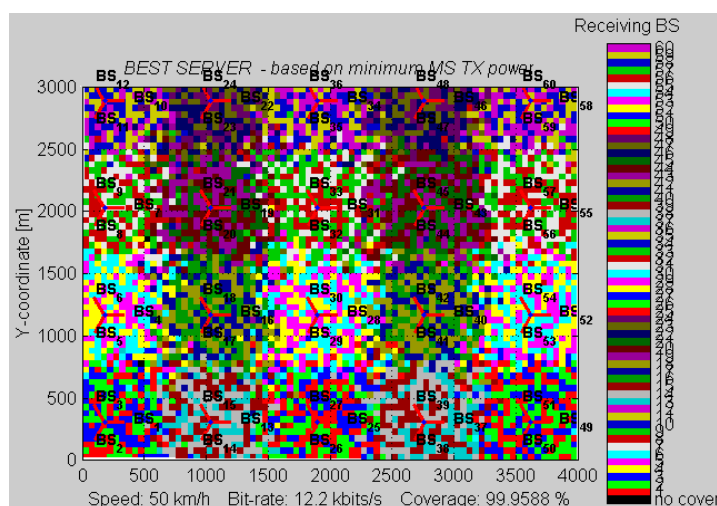


Figura 5.12 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 isolada

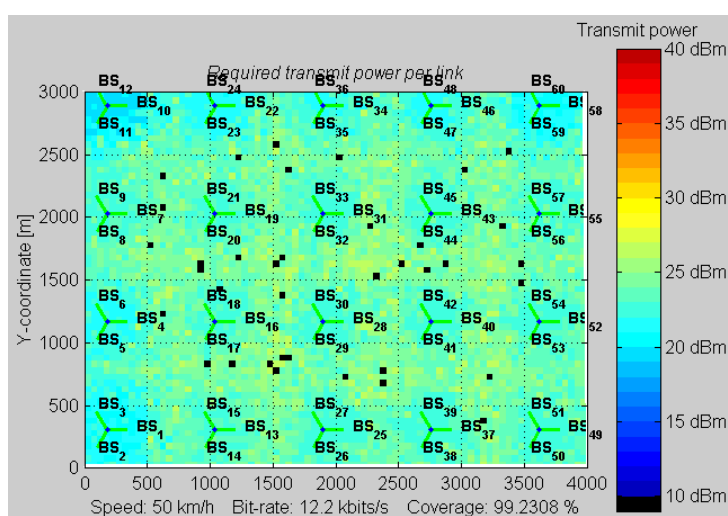


Figura 5.13 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 isolada

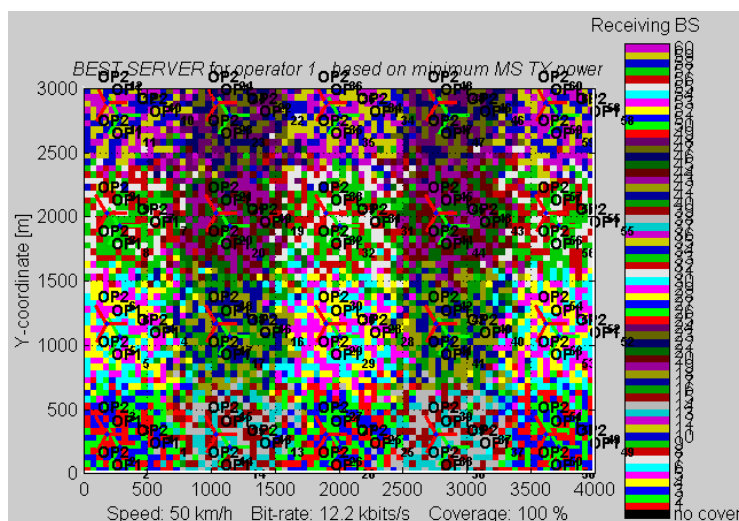


Figura 5.14 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 na presença de
ACI

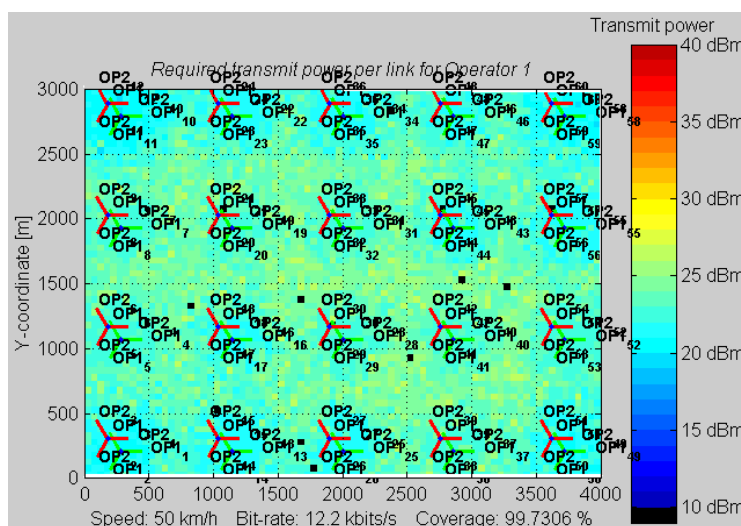


Figura 5.15 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 na presença de
ACI

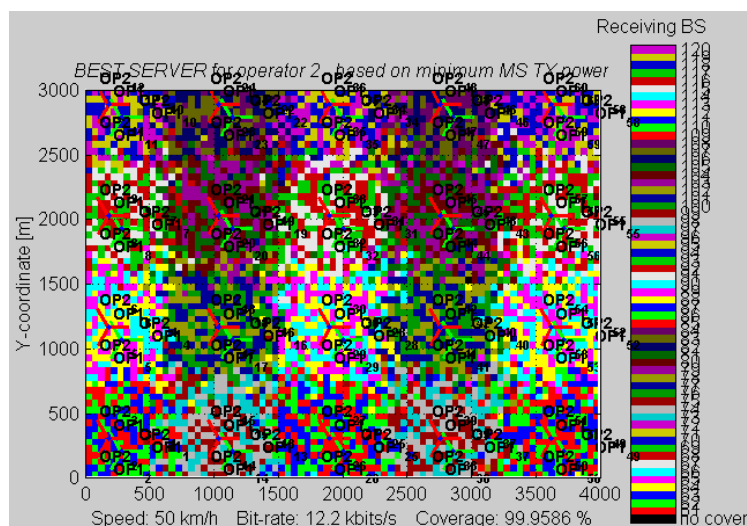


Figura 5.16 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 na presença de ACI

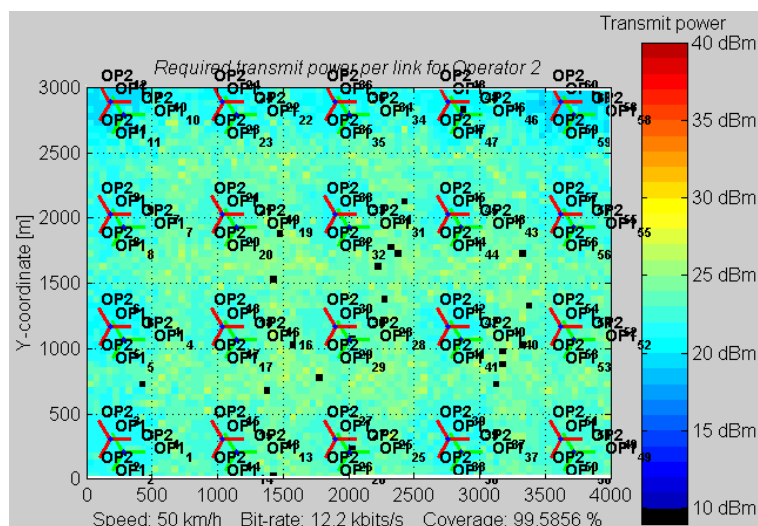


Figura 5.17 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 na presença de ACI

b) Resultados para serviço de dados a 144 kb/s

Para este serviço foi suposto no planejamento inicial da rede 3 usuários por setor, ou seja, um total de 180 usuários. Primeiramente, a simulação foi feita considerando as operadoras atuando isoladamente. Do total de usuários planejados, a Operadora 1 atende 143 e a Operadora 2 atende 144. A seguir, foi feita a simulação com as duas operadoras presentes na mesma área geográfica. Nesta situação, o total de usuários atendidos passa a 135 pela Operadora 1 e 134 pela Operadora 2. Em outras palavras, houve uma redução de 5,59% no atendimento da Operadora 1 e 6,94% na Operadora 2. Em termos operacionais, a redução

observada nos dois casos pode ser considerada aceitável (TR 25.942 v9.0.0, 2009). As Figuras 5.18 e 5.19 ilustram graficamente as distribuições de usuários atendidos pelas Operadoras 1 e 2 na presença da interferência de canal adjacente. Cumpre informar que cada pixel em vermelho destas figuras corresponde a 1 usuário.

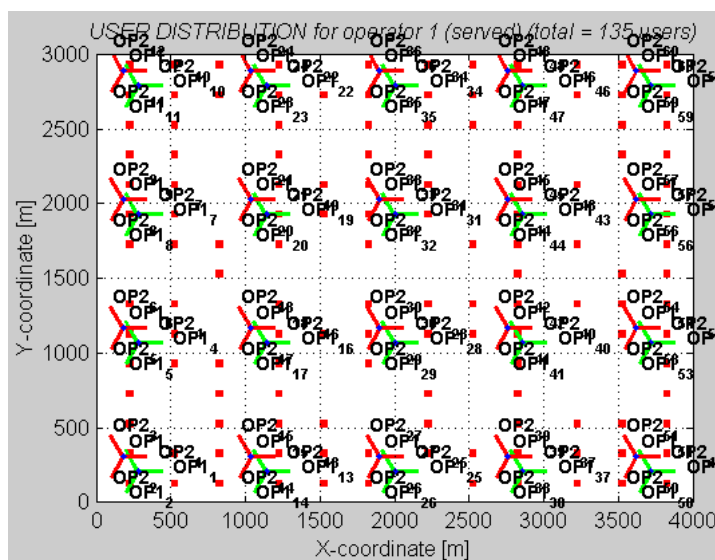


Figura 5.18 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI

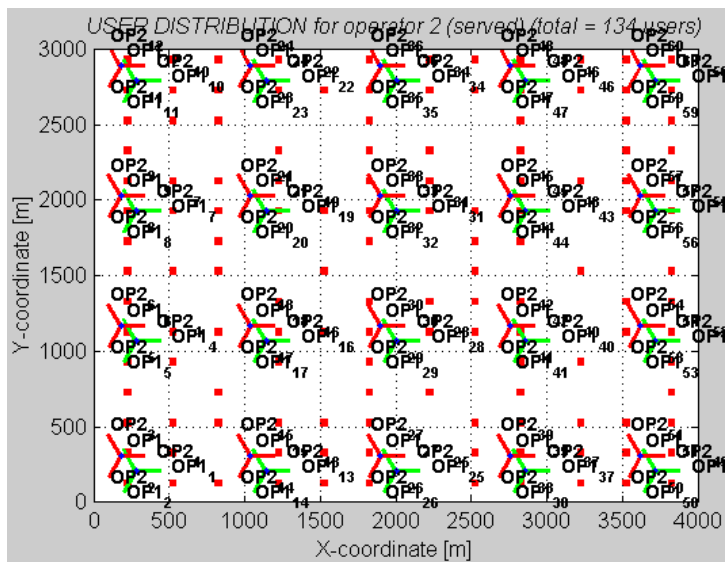


Figura 5.19 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI

Adicionalmente, foram realizadas simulações variando o valor da ACIR. Os gráficos obtidos nas Figuras 5.20 e 5.21 indicam que uma ACIR de 32,7 dB é suficiente para que a redução de capacidade da rede tenha um nível aceitável, não sendo justificável aumentar este valor. Isto porque uma ACIR maior não oferece um aumento de capacidade significativo em relação à capacidade quando seu valor é de 32,7 dB. Observa-se também que uma ACIR

maior que 32,7 dB não apresentou nenhuma melhoria. Isto ocorre pelo mesmo motivo descrito no item a) desta Seção.

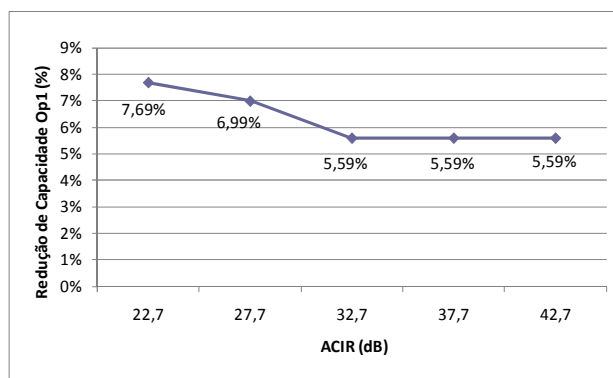


Figura 5.20 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR

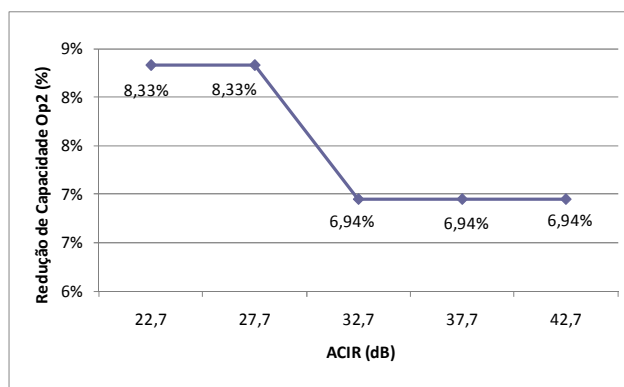


Figura 5.21 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR

A segunda hipótese analisada foi correspondente à co-localização das estações rádio base das duas operadoras utilizando a mesma infra-estrutura de torre ou no topo de um prédio. As Figuras 5.22 e 5.23 mostram a distribuição dos usuários atendidos por cada operadora nesta condição. Observou-se que a redução de capacidade nas Operadoras 1 e 2 baixou, respectivamente de 5,59% para 0% e de 6,94% para 6,25%.

Observa-se uma melhora substancial para a Operadora 1 e uma pequena melhora para a Operadora 2. Isto se deve aos procedimentos de cálculo implementados no simulador. Ao realizar as iterações, no caso em que duas Operadoras estão presentes, o simulador sempre toma a Operadora 1 como referência, ou seja, quando os cálculos tanto no enlace de subida quanto no de descida convergem para esta Operadora, a simulação é encerrada. Isso pode prejudicar o resultado final da Operadora 2, pois em alguns casos a simulação não alcança a convergência e o resultado pode não ser tão satisfatório quanto o da Operadora 1.

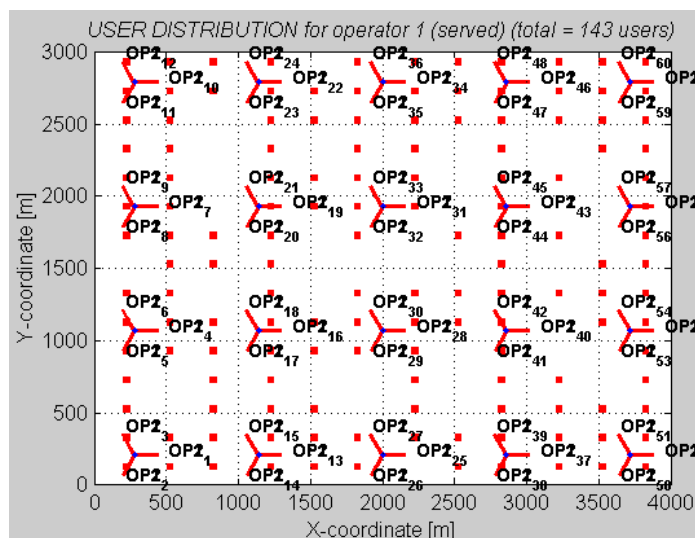


Figura 5.22 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização

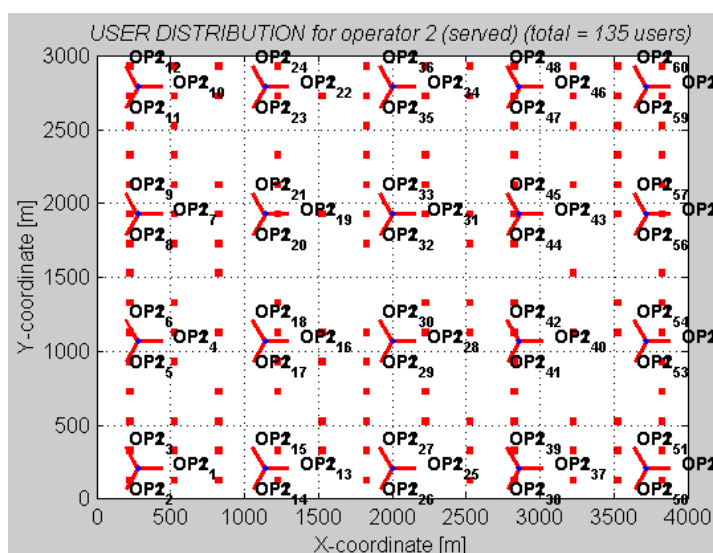


Figura 5.23 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização

Vale acrescentar que o planejamento inicial da rede previa o atendimento de 3 usuários por setor. Observou-se nos cenários simulados que a rede projetada atende, em média, 2 usuários por setor.

Além da capacidade, foi analisada também a influência da ACI na cobertura da rede. Na tabela 5.12 observam-se os valores de percentual de cobertura obtidos para as operadoras isoladamente e na presença de ACI.

Cenário	Operadora 1		Operadora 2	
	Enlace subida	Enlace descida	Enlace subida	Enlace descida
Operadoras isoladas	99,43%	85,77%	99,02%	82,06%
Na presença de ACI	99,15%	68,39%	99,42%	70,35%

Tabela 5.12 – Cobertura para 144 kb/s no cenário urbano denso em 2100 MHz

Observa-se que não houve alteração significativa na cobertura no enlace de subida. Já no enlace de descida observa-se uma redução em torno de 17% para a Operadora 1 e de 12% para a Operadora 2. Cumpre acrescentar que, mesmo para as operadoras isoladas a cobertura no enlace de descida foi inferior a 90%. As figuras com a representação gráfica da estimativa de cobertura para os diversos cenários podem ser encontradas no Anexo 2 deste texto.

Em alguns casos pode-se observar que o percentual de cobertura sofre um aumento não significativo pelo mesmo motivo já descrito no item a) da Seção 5.2.1.

5.2.2 Cenário urbano denso em 850 MHz

Nesse caso supôs-se uma rede de 8 células com 3 setores cada em uma área de 12 Km² e a separação entre as estações rádio base foi de 1880m. A rede planejada contempla usuários de serviço de voz a uma taxa de 12,2 kb/s e usuários do serviço de dados a uma taxa de 144 kb/s, os quais foram simulados separadamente. Foi utilizada nos cálculos o valor de 32,7 para ACIR, o qual é recomendado pelo 3GPP (TR 25.942 v9.0.0, 2009). Além disso, foi suposta uma carga máxima de 75% nas células como um dos fatores limitantes no cálculo da capacidade.

As Figuras 5.24 e 5.25 mostram a distribuição das estações rádio base das Operadoras 1 e 2 próximas entre si, porém sem atender a condição de co-localização.

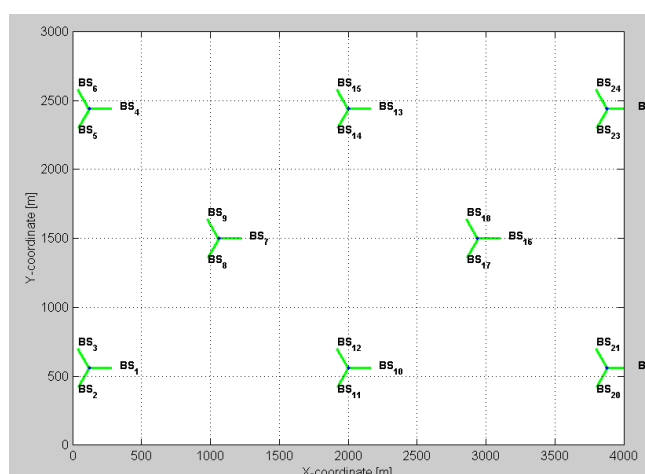


Figura 5.24 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 1

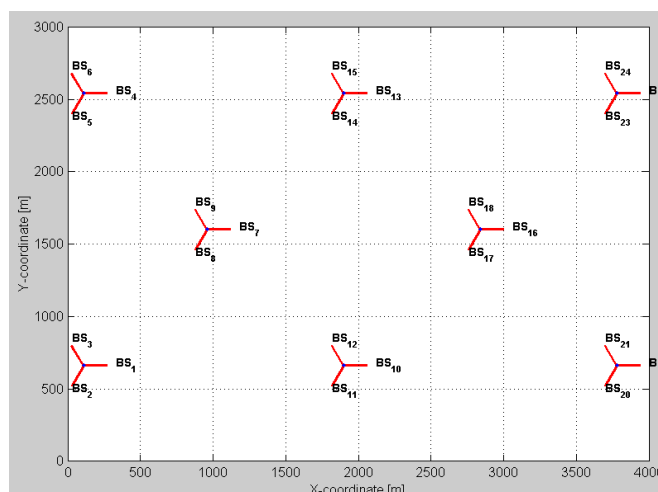


Figura 5.25 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 2

a) Resultados para o serviço de voz a 12,2 kb/s

Para este serviço foi suposto no planejamento inicial da rede 30 usuários por setor, ou seja, um total de 720 usuários. Primeiramente, a simulação foi feita considerando as operadoras atuando isoladamente. Do total de usuários planejados, a Operadora 1 atende 586 e a Operadora 2 atende 581. A seguir, foi feita a simulação com as duas operadoras presentes na mesma área geográfica. Nesta situação, o total de usuários atendidos passa a 563 pela Operadora 1 e 554 pela Operadora 2. Em outras palavras, houve uma redução de 3,92% no atendimento da Operadora 1 e 4,65% na Operadora 2. Em termos operacionais, novamente, a redução observada nos dois casos pode ser considerada aceitável (TR 25.942 v9.0.0, 2009). As Figuras 5.26 e 5.27 ilustram graficamente as distribuições de usuários atendidos pelas Operadoras 1 e 2 na presença da interferência de canal adjacente. Cumpre informar que cada pixel em vermelho destas figuras corresponde a 1 usuário.

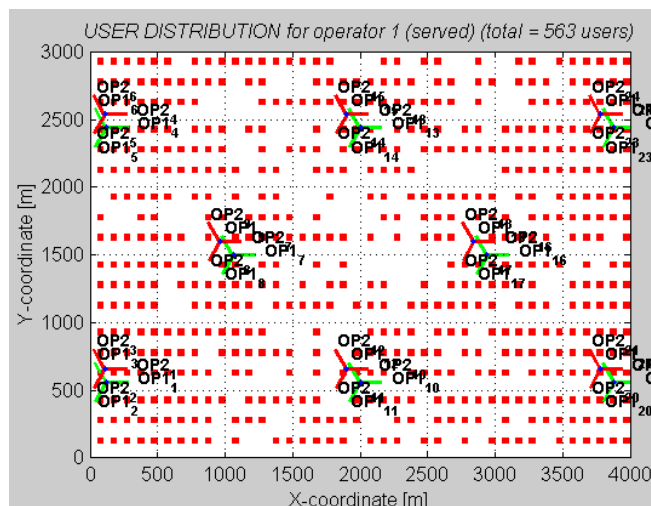


Figura 5.26 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI

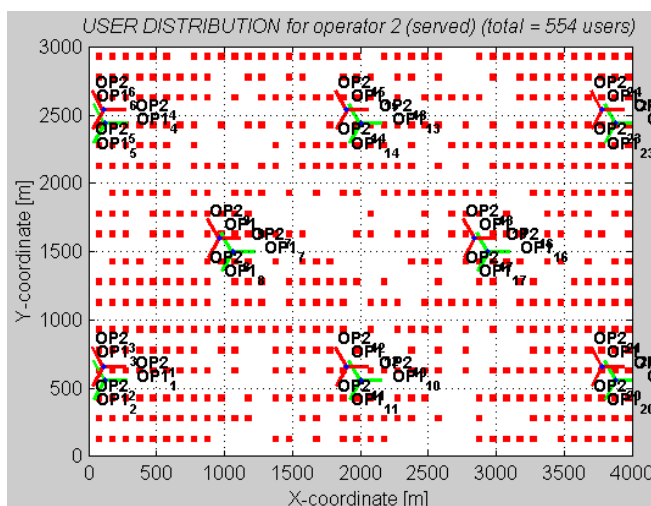


Figura 5.27 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI

Adicionalmente, foram realizadas simulações variando o valor da ACIR. Os gráficos obtidos nas Figuras 5.28 e 5.29 indicam que uma ACIR de 32,7 dB é suficiente para que a redução de capacidade da rede tenha um nível aceitável, não sendo justificável aumentar este valor. Observa-se também que uma ACIR maior que 32,7 dB não apresentou nenhuma melhoria. Isto ocorre pelo mesmo motivo descrito na Seção 5.2.1.

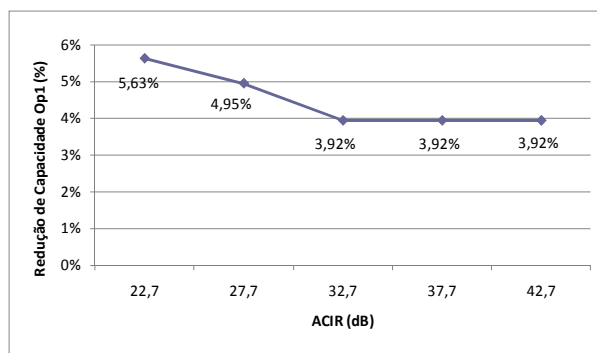


Figura 5.28 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR

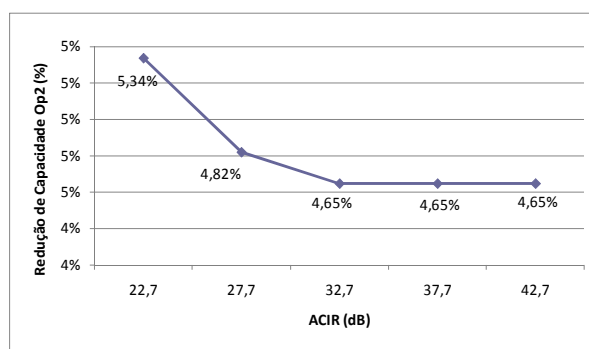


Figura 5.29 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR

A segunda hipótese analisada foi correspondente à co-localização das estações rádio base das duas operadoras utilizando a mesma infra-estrutura de torre ou no topo de um prédio. As Figuras 5.30 e 5.31 mostram a distribuição dos usuários atendidos por cada operadora nesta condição. Observou-se que a redução de capacidade nas Operadoras 1 e 2 baixou, respectivamente de 3,92% para 1,71% e de 4,65% para 3,27%. Com este resultado, mais uma vez, verificou-se a eficiência da técnica de co-localização no combate ao efeito da ACI. No caso em questão, a melhoria situou-se em torno de 1,78%.

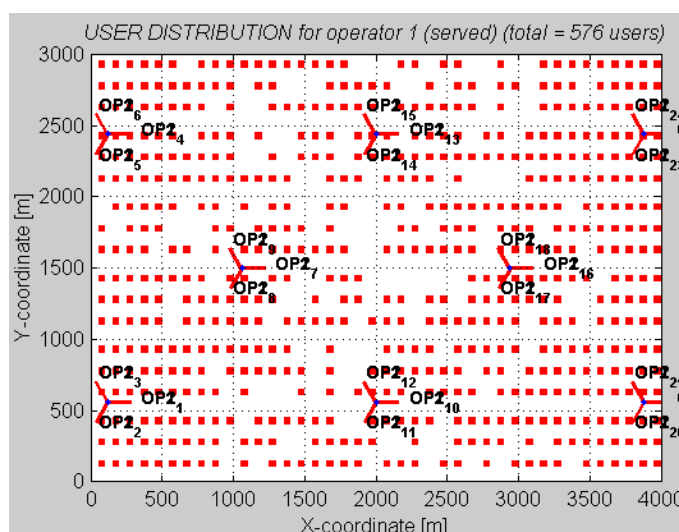


Figura 5.30 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização

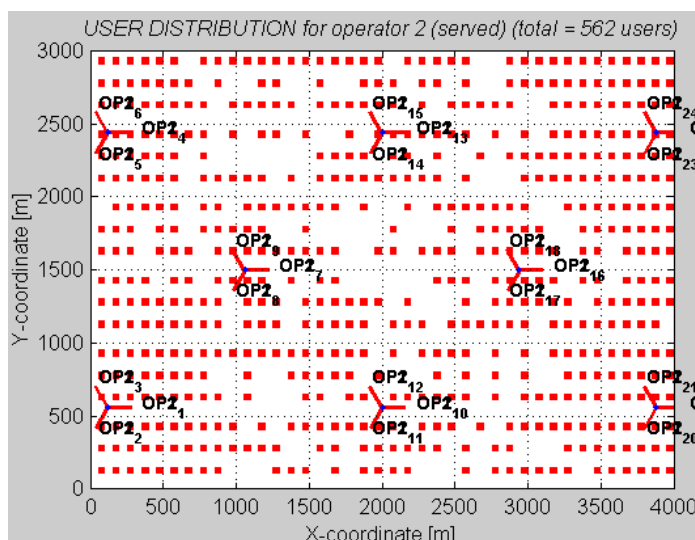


Figura 5.31 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização

Vale acrescentar que o planejamento inicial da rede previa o atendimento de 30 usuários por setor. Observou-se nos cenários simulados que a rede projetada atende, em média, 25 usuários por setor.

Além da capacidade, foi analisada também a influência da ACI na cobertura da rede. Na tabela 5.13 observam-se os valores de percentual de cobertura obtidos para as operadoras isoladamente e na presença de ACI.

Cenário	Operadora 1		Operadora 2	
	Enlace subida	Enlace descida	Enlace subida	Enlace descida
Operadoras isoladas	99,42%	99,42%	98,63%	99,40%
Na presença de ACI	99,82%	99,36%	98,92%	99,57%

Tabela 5.13 – Cobertura para 12,2 kb/s no cenário urbano denso em 850 MHz

Não houve alteração significativa na cobertura tanto no enlace de subida quanto no enlace de descida para o serviço de voz a 12,2 Kbps. As figuras com a representação gráfica da estimativa de cobertura para os diversos cenários podem ser encontradas no Anexo 2 deste texto. Em alguns casos pode-se observar que o percentual de cobertura sofre um aumento não significativo pelo mesmo motivo já descrito no item a) da Seção 5.2.1.

b) Resultados para serviço de dados a 144 kb/s

Para este serviço foi suposto no planejamento inicial da rede 3 usuários por setor, ou seja, um total de 72 usuários. Primeiramente, a simulação foi feita considerando as operadoras atuando isoladamente. Do total de usuários planejados, tanto a Operadora 1 quanto a Operadora 2 atendem 60. A seguir, foi feita a simulação com as duas operadoras presentes na

mesma área geográfica. Nesta situação, o total de usuários atendidos passa a 54 para as duas Operadoras. Em outras palavras, houve uma redução de 10% no atendimento de ambas. Nesse caso houve uma redução percentual maior devido à ordem de grandeza do número de usuários atendidos inicialmente. As Figuras 5.32 e 5.33 ilustram graficamente as distribuições de usuários atendidos pelas Operadoras 1 e 2 na presença da interferência de canal adjacente. Cumpre informar que cada pixel em vermelho destas figuras corresponde a 1 usuário.

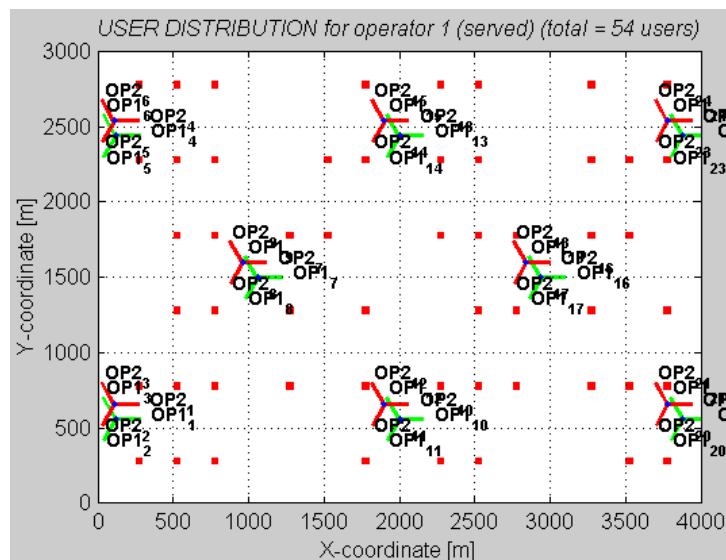


Figura 5.32 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI

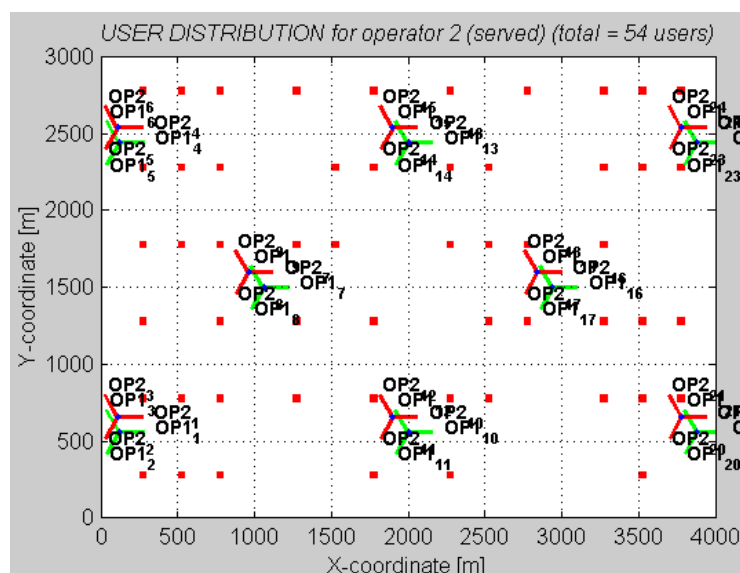


Figura 5.33 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI

Adicionalmente, foram realizadas simulações variando o valor da ACIR. Os gráficos obtidos nas Figuras 5.34 e 5.35 mostram que não houve influência da ACIR na redução da capacidade da rede. Em casos dessa natureza o fator limitante de capacidade da rede é a capacidade de *hardware*.

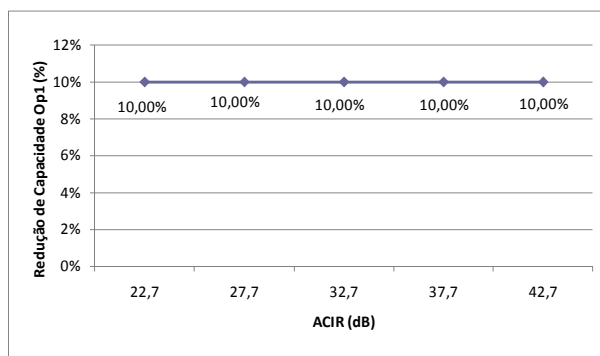


Figura 5.34 - Redução de Capacidade da Op1 em função da ACIR

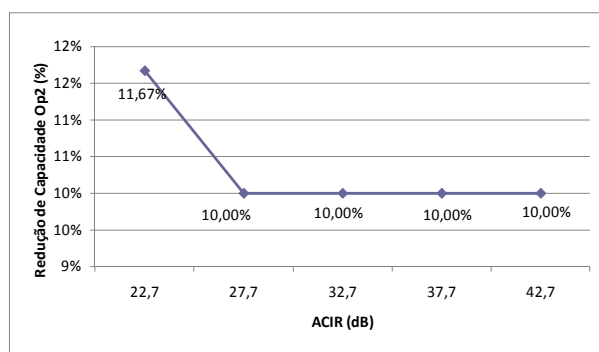


Figura 5.35 - Redução de Capacidade da Op2 em função da ACIR

A segunda hipótese analisada foi correspondente à co-localização das estações rádio base das duas operadoras utilizando a mesma infra-estrutura de torre ou no topo de um prédio. As Figuras 5.36 e 5.37 mostram a distribuição dos usuários atendidos por cada operadora nesta condição. Observou-se que a redução de capacidade nas Operadoras 1 e 2 baixou, respectivamente de 10% para 1,67% e de 10% para 8,33%. A pequena melhoria observada na Operadora 2 é justificada pela mesma explicação dada no item b) da Seção 5.2.1.

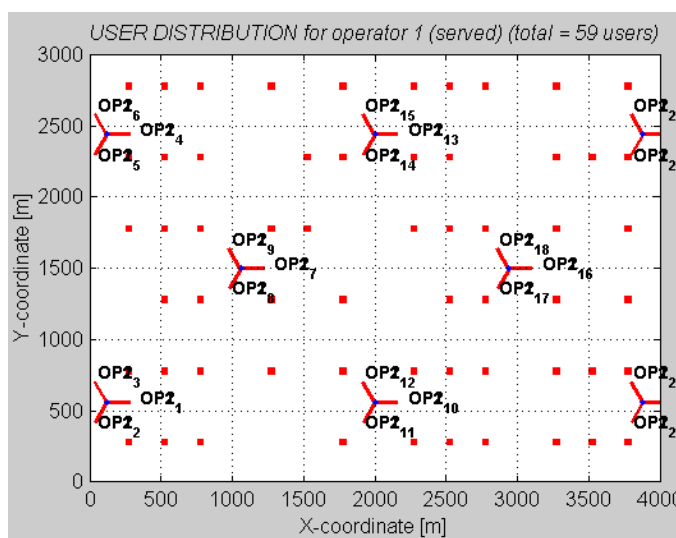


Figura 5.36 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização

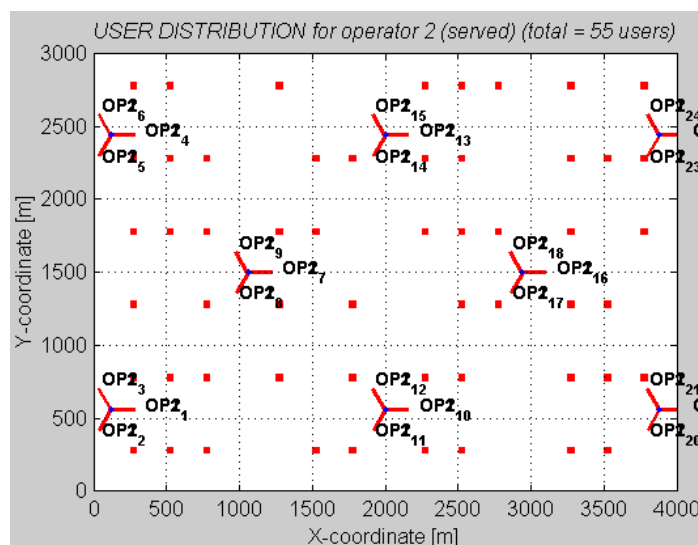


Figura 5.37 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização

Vale acrescentar que o planejamento inicial da rede previa o atendimento de 3 usuários por setor. Observou-se nos cenários simulados que a rede projetada atende, em média, 2 usuários por setor.

Além da capacidade, foi analisada também a influência da ACI na cobertura da rede. Na tabela 5.14 observam-se os valores de percentual de cobertura obtidos para as operadoras isoladamente e na presença de ACI.

Cenário	Operadora 1		Operadora 2	
	Enlace subida	Enlace descida	Enlace subida	Enlace descida
Operadoras isoladas	87,61%	71,01%	88,51%	75,73%
Na presença de ACI	87,32%	59,12%	88,13%	75,68%

Tabela 5.14 – Cobertura para 144 kb/s no cenário urbano denso em 850 MHz

Observa-se que não houve alteração significativa na cobertura no enlace de subida. Porém, no enlace de descida, observa-se uma redução em torno de 12% para a Operadora 2, enquanto para a Operadora 1 não houve redução significativa. Entretanto, deve ser destacado que em todos os casos acima a cobertura foi inferior a 90%. As figuras com a representação gráfica da estimativa de cobertura para os diversos cenários podem ser encontradas no Anexo 2 deste texto.

5.2.3 Cenário urbano em 2100 MHz

Nesse caso supôs-se uma rede de 15 células com 3 setores cada em uma área de 13,5 Km² e a separação entre as estações rádio base foi de 860m. A rede planejada contempla

usuários de serviço de voz a uma taxa de 12,2 kb/s e usuários do serviço de dados a uma taxa de 144 kb/s, os quais foram simulados separadamente. Foi utilizada nos cálculos o valor de 32,7 para ACIR, o qual é recomendado pelo 3GPP (TR 25.942 v9.0.0, 2009). Além disso, foi suposta uma carga máxima de 75% nas células como um dos fatores limitantes no cálculo da capacidade.

As Figuras 5.38 e 5.39 mostram a distribuição das estações rádio base das Operadoras 1 e 2 próximas entre si, porém sem atender a condição de co-localização.

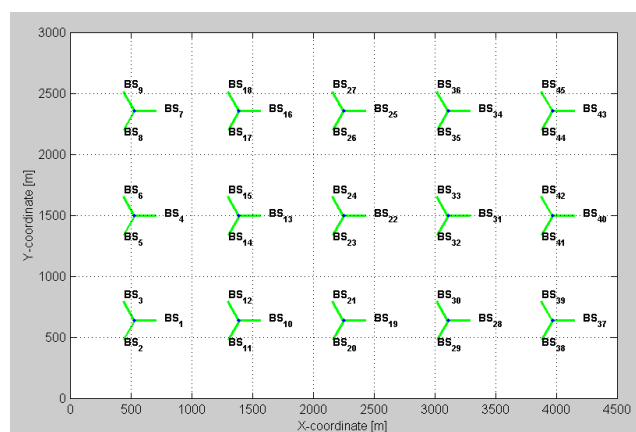


Figura 5.38 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 1

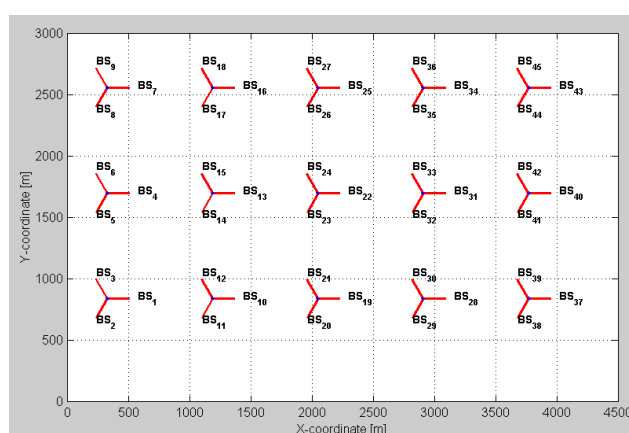


Figura 5.39 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 2

a) Resultados para o serviço de voz a 12,2 kb/s

Para este serviço foi suposto no planejamento inicial da rede 30 usuários por setor, ou seja, um total de 1350 usuários. Primeiramente, a simulação foi feita considerando as operadoras atuando isoladamente. Do total de usuários planejados, a Operadora 1 atende 1123 e a Operadora 2 atende 1085. A seguir, foi feita a simulação com as duas operadoras presentes na mesma área geográfica. Nesta situação, o total de usuários atendidos passa a 1083 pela Operadora 1 e 1035 pela Operadora 2. Em outras palavras, houve uma redução de 3,56% no

atendimento da Operadora 1 e 4,61% na Operadora 2. Em termos operacionais, a redução observada nos dois casos pode ser considerada aceitável (TR 25.942 v9.0.0, 2009). As Figuras 5.40 e 5.41 ilustram graficamente as distribuições de usuários atendidos pelas Operadoras 1 e 2 na presença da interferência de canal adjacente. Cumpre informar que cada pixel em vermelho destas figuras corresponde a 1 usuário.

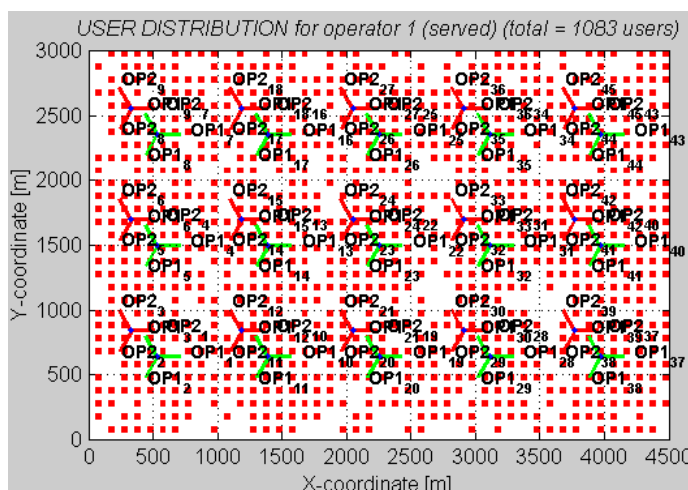


Figura 5.40 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI

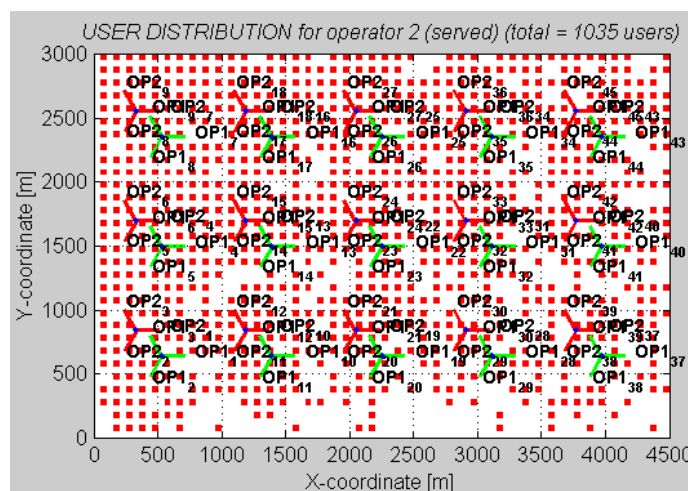


Figura 5.41 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI

Adicionalmente, foram realizadas simulações variando o valor da ACIR. Os gráficos obtidos nas Figuras 5.42 e 5.43 indicam que uma ACIR de 32,7 dB é suficiente para que a redução de capacidade da rede tenha um nível aceitável, não sendo justificável aumentar este valor. Isto porque uma ACIR maior não iria oferecer um aumento de capacidade significativo em relação à capacidade quando a ACIR é 32,7 dB.

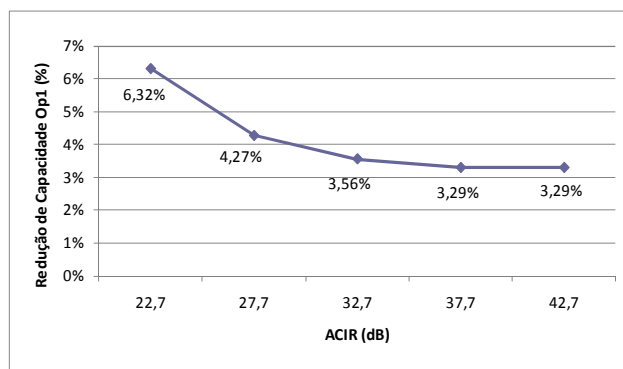


Figura 5.42 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR

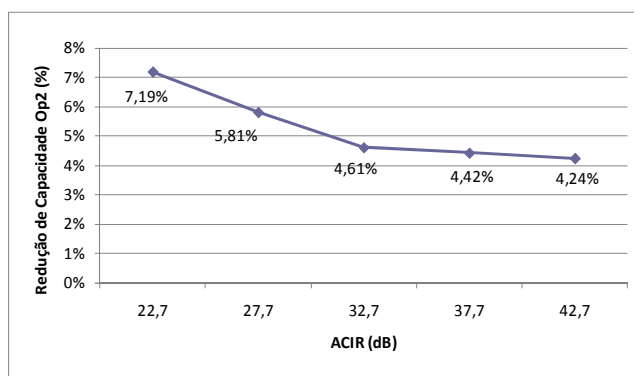


Figura 5.43 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR

A segunda hipótese analisada foi correspondente à co-localização das estações rádio base das duas operadoras utilizando a mesma infra-estrutura de torre ou no topo de um prédio. As Figuras 5.44 e 5.45 mostram a distribuição dos usuários atendidos por cada operadora nesta condição. Observou-se que a redução de capacidade na Operadoras 1 baixou de 3,56% para 1,34% e na Operadora 2 manteve-se em 4,61%. Relativamente, para o fato de não ter havido melhoria na redução de capacidade na Operadora 2, a explicação é a mesma dada no item b) da Seção 2.2.1.

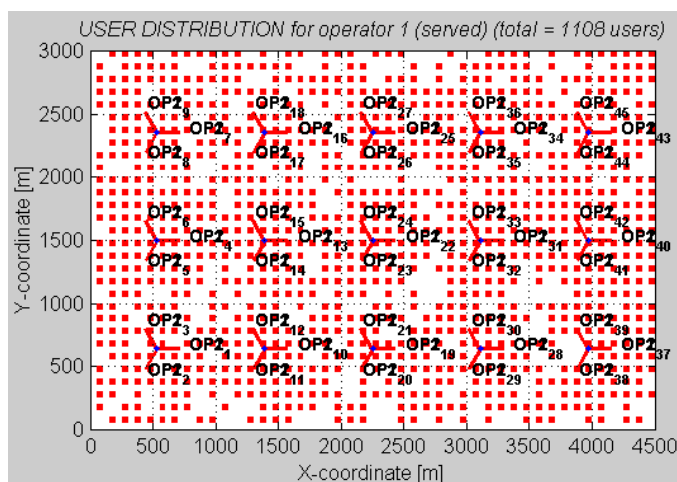


Figura 5.44 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização

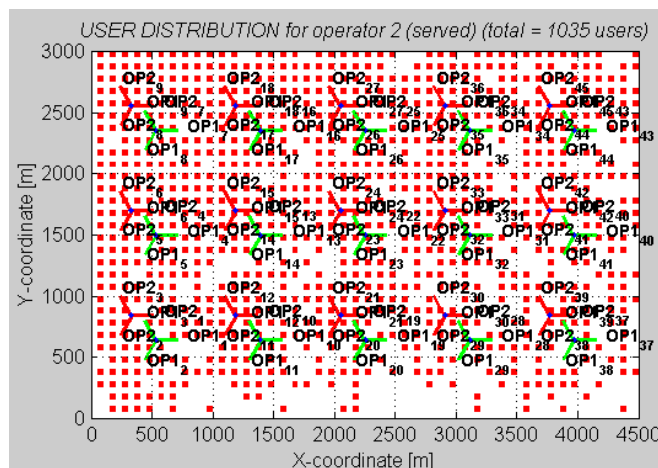


Figura 5.45 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização

Vale acrescentar que o planejamento inicial da rede previa o atendimento de 30 usuários por setor. Observou-se nos cenários simulados que a rede projetada atende, em média, 25 usuários por setor.

Além da capacidade, foi analisada também a influência da ACI na cobertura da rede. Na tabela 5.15 observam-se os valores de percentual de cobertura obtidos para as operadoras isoladamente e na presença de ACI.

Cenário	Operadora 1		Operadora 2	
	Enlace subida	Enlace descida	Enlace subida	Enlace descida
Operadoras isoladas	99,09%	99,06%	98,41%	98,63%
Na presença de ACI	98,96%	99,03%	98,52%	98,72%

Tabela 5.15 – Cobertura para 12,2 kb/s no cenário urbano em 2100 MHz

Não houve alteração significativa na cobertura tanto nos enlace de subida e descida para o serviço de voz a 12,2 Kbps. Em alguns casos pode-se observar que o percentual de cobertura sofre um aumento não significativo pelo mesmo motivo já descrito no item a) da Seção 5.2.1.

b) Resultados para serviço de dados a 144 kb/s

Para este serviço foi suposto no planejamento inicial da rede considerando um total de 108 usuários. Primeiramente, a simulação foi feita considerando as operadoras atuando isoladamente. Do total de usuários planejados, a Operadora 1 atende 96 e a Operadora 2 atende 91. A seguir, foi feita a simulação com as duas operadoras presentes na mesma área geográfica. Nesta situação, o total de usuários atendidos passa a 90 pela Operadora 1 e 81 pela Operadora 2. Em outras palavras, houve uma redução de 6,25% no atendimento da Operadora 1 e 10,99% na Operadora 2. Nesse caso há a redução percentual maior para a Operadora 2

está associada à ordem de grandeza do número de usuários atendidos inicialmente. Porém, observa-se que houve uma redução de apenas 10 usuários em um total de 91 o que também configura uma redução aceitável. As Figuras 5.46 e 5.47 ilustram graficamente as distribuições de usuários atendidos pelas Operadoras 1 e 2 na presença da interferência de canal adjacente. Cumpre informar que cada pixel em vermelho destas figuras corresponde a 1 usuário.

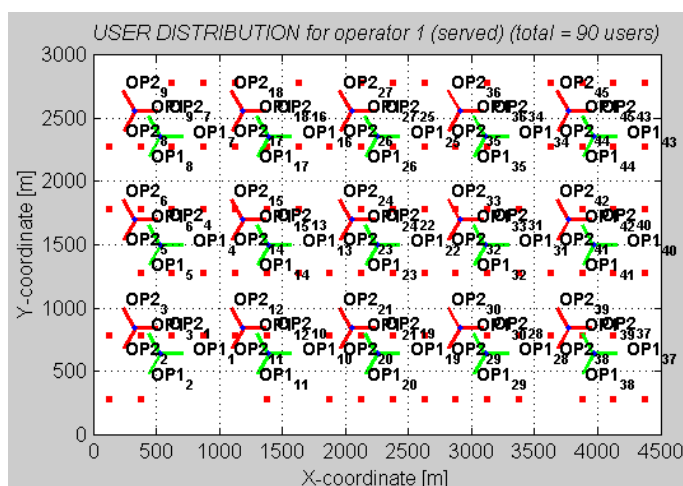


Figura 5.46 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI

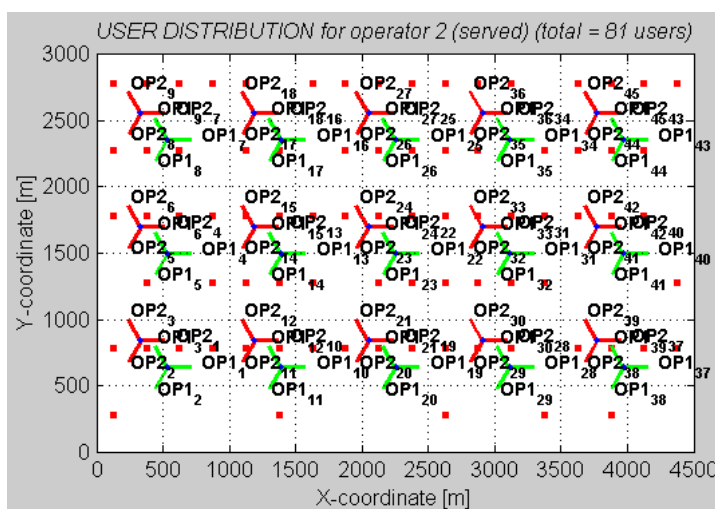


Figura 5.47 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI

Adicionalmente, foram realizadas simulações variando o valor da ACIR. Os gráficos obtidos nas Figuras 5.48 e 5.49 indicam que uma ACIR de 37,7 dB seria recomendável nesse caso para que a redução de capacidade da rede seja a menor possível, porém, a ACIR de 32,7 já proporciona um valor aceitável, não sendo justificável aumentar este valor. Isto ocorre porque uma ACIR maior não iria oferecer um aumento de capacidade significativo em relação à capacidade quando seu valor é de 32,7 dB. Observa-se também em alguns casos (Figura

5.48), que uma ACIR maior que 32,7 dB não apresenta nenhuma melhoria. Isto ocorre pelo mesmo motivo descrito no item a) da Seção 5.2.1.

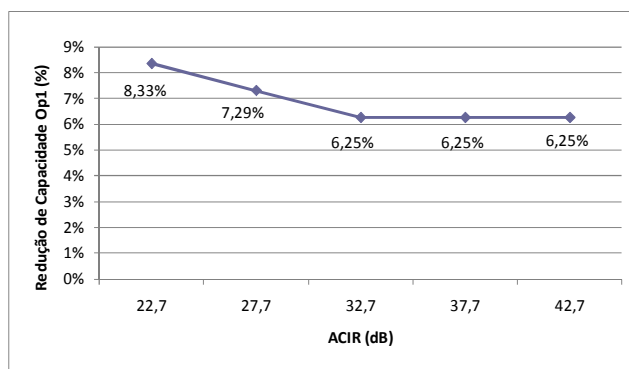


Figura 5.48 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR

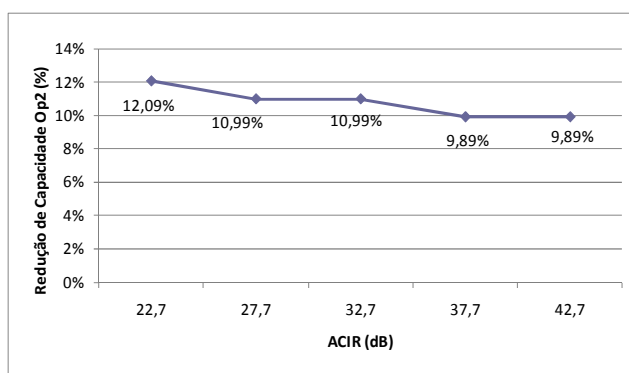


Figura 5.49 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR

A segunda hipótese analisada foi correspondente à co-localização das estações rádio base das duas operadoras utilizando a mesma infra-estrutura de torre ou no topo de um prédio. As Figuras 5.50 e 5.51 mostram a distribuição dos usuários atendidos por cada operadora nesta condição. Observou-se que a redução de capacidade nas Operadoras 1 e 2 baixou, respectivamente de 6,25% para 0% e de 10,99% para 4,4%. No caso em questão, a melhoria situou-se em torno de 6%.

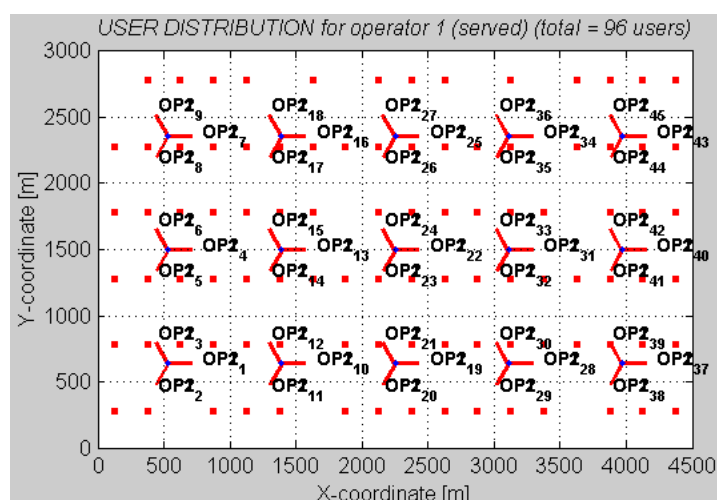


Figura 5.50 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização

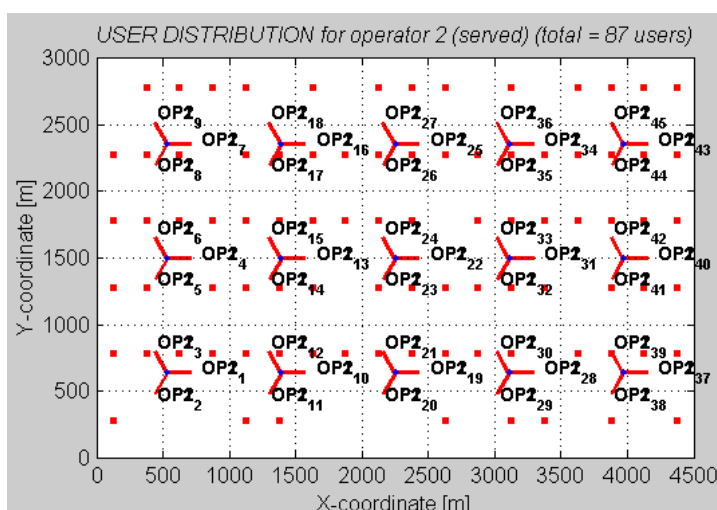


Figura 5.51 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização

Vale acrescentar que o planejamento inicial da rede previa o atendimento de 3 usuários por setor. Observou-se nos cenários simulados que a rede projetada atende, em média, 2 usuários por setor.

Além da capacidade, foi analisada também a influência da ACI na cobertura da rede. Na tabela 5.16 observam-se os valores de percentual de cobertura obtidos para as operadoras isoladamente e na presença de ACI.

Cenário	Operadora 1		Operadora 2	
	Enlace subida	Enlace descida	Enlace subida	Enlace descida
Operadoras isoladas	92,26%	66,57%	90,72%	76,06%
Na presença de ACI	92,01%	66,80%	90,68%	64,48%

Tabela 5.16 – Cobertura para 144 kb/s no cenário urbano em 2100 MHz

Observa-se que, em ambas as operadoras, a cobertura do enlace de descida foi deficiente. Trata-se de um ponto importante a ser considerado na continuação deste trabalho.

5.2.4 Cenário urbano em 850 MHz

Nesse caso supôs-se uma rede de 6 células com 3 setores cada em uma área de 13,5 Km² e a separação entre as estações rádio base foi de 1880m. A rede planejada contempla usuários de serviço de voz a uma taxa de 12,2 kb/s e usuários do serviço de dados a uma taxa de 144 kb/s, os quais foram simulados separadamente. Foi utilizada nos cálculos o valor de 32,7 para ACIR, o qual é recomendado pelo 3GPP (TR 25.942 v9.0.0, 2009). Além disso, foi suposta uma carga máxima de 75% nas células como um dos fatores limitantes no cálculo da capacidade.

As Figuras 5.52 e 5.53 mostram a distribuição das estações rádio base das Operadoras 1 e 2 próximas entre si, porém sem atender a condição de co-localização.

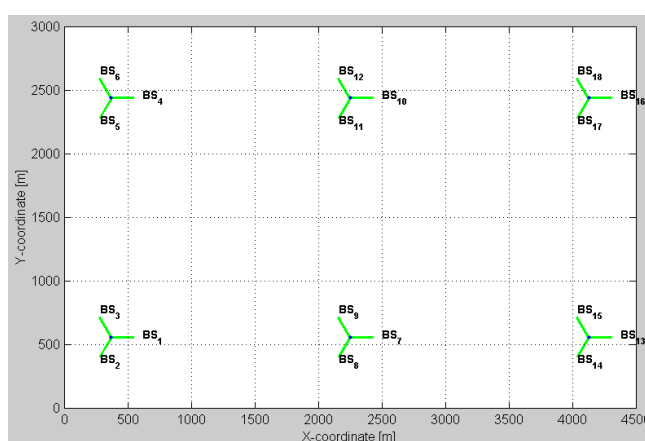


Figura 5.52 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 1

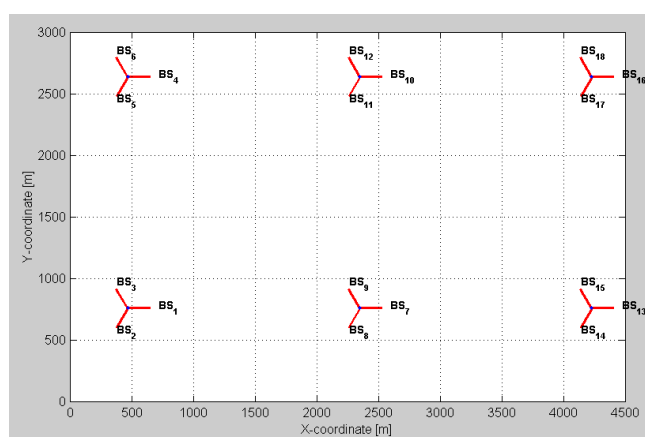


Figura 5.53 - Distribuição das estações rádio base da Operadora 2

a) Resultados para o serviço de voz a 12,2 kb/s

Para este serviço foi suposto no planejamento inicial da rede 30 usuários por setor, ou seja, um total de 540 usuários. Primeiramente, a simulação foi feita considerando as

operadoras atuando isoladamente. Do total de usuários planejados, a Operadora 1 atende 445 e a Operadora 2 atende 441. A seguir, foi feita a simulação com as duas operadoras presentes na mesma área geográfica. Nesta situação, o total de usuários atendidos passa a 412 pela Operadora 1 e 409 pela Operadora 2. Em outras palavras, houve uma redução de 7,42% no atendimento da Operadora 1 e 7,26% na Operadora 2. Em termos operacionais, a redução observada nos dois casos pode ser considerada aceitável (TR 25.942 v9.0.0, 2009). As Figuras 5.54 e 5.55 ilustram graficamente as distribuições de usuários atendidos pelas Operadoras 1 e 2 na presença da interferência de canal adjacente. Cumpre informar que cada pixel em vermelho destas figuras corresponde a 1 usuário.

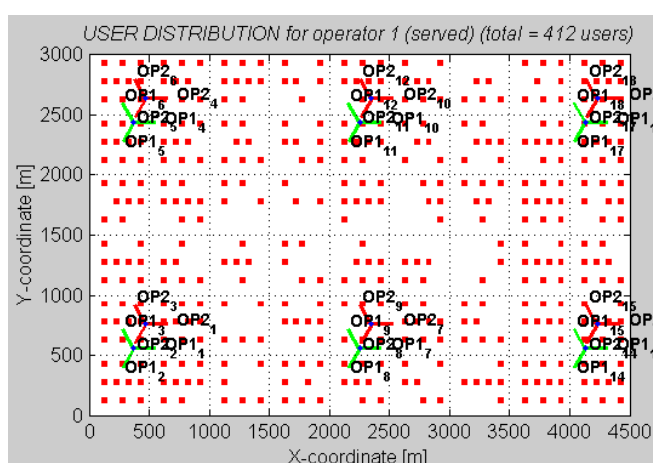


Figura 5.54 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI

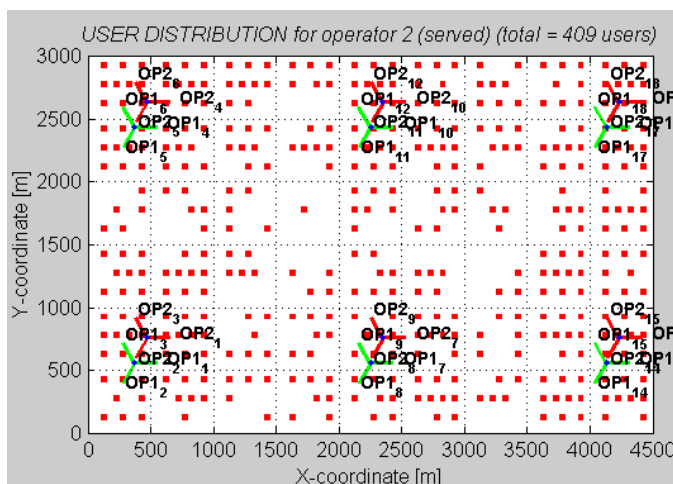


Figura 5.55 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI

Adicionalmente, foram realizadas simulações variando o valor da ACIR. Os gráficos obtidos nas Figuras 5.56 e 5.57 indicam que uma ACIR de 32,7 dB é suficiente para que a redução de capacidade da rede tenha um nível aceitável, não sendo justificável aumentar este valor pelo mesmo motivo descrito na Seção 5.2.1. Observa-se também em alguns casos

(Figura 5.57), que uma ACIR maior que 32,7 dB não apresentou nenhuma melhoria. Isto ocorre pelo mesmo motivo descrito no item a) da Seção 5.2.1.

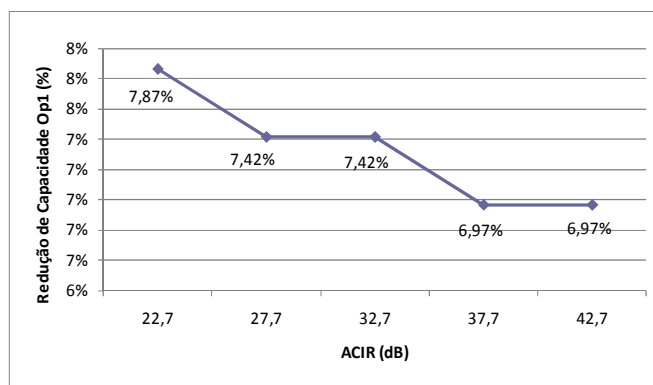


Figura 5.56 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR

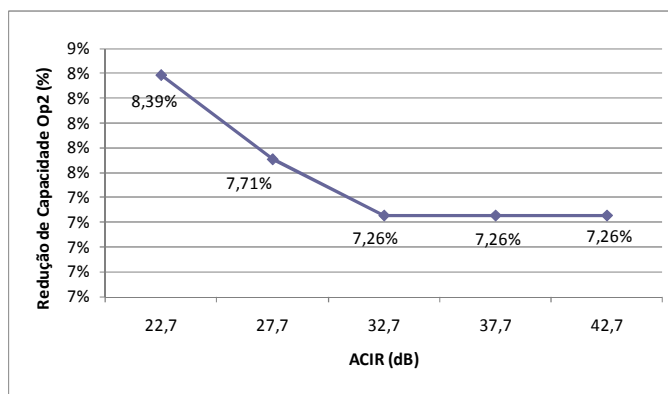


Figura 5.57 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR

A segunda hipótese analisada foi correspondente à co-localização das estações rádio base das duas operadoras utilizando a mesma infra-estrutura de torre ou no topo de um prédio. As Figuras 5.58 e 5.59 mostram a distribuição dos usuários atendidos por cada operadora nesta condição. Observou-se que a redução de capacidade nas Operadoras 1 e 2 baixou, respectivamente de 7,42% para 2,7% e de 7,26% para 2,95%. Com este resultado, novamente verifica-se a eficiência da técnica de co-localização. No caso em questão, a melhoria situou-se em torno de 4,5%.

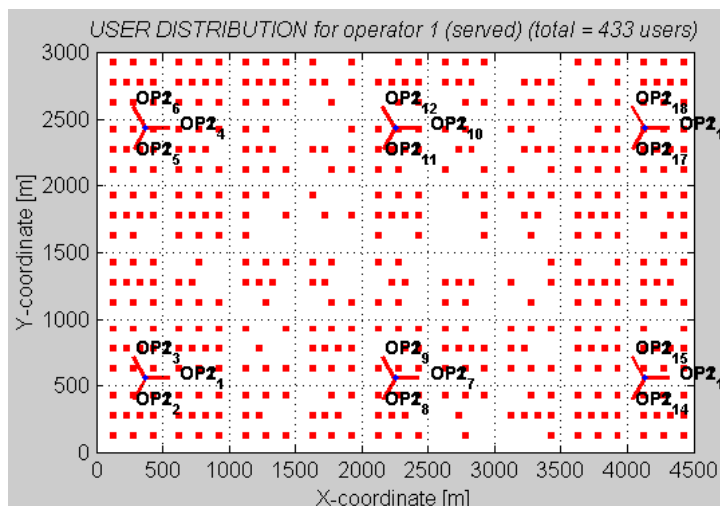


Figura 5.58 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização

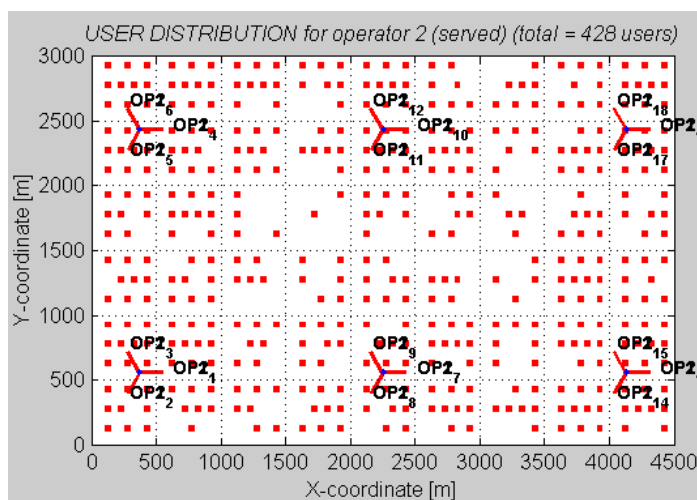


Figura 5.59 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização

Vale acrescentar que o planejamento inicial da rede previa o atendimento de 30 usuários por setor. Observou-se nos cenários simulados que a rede projetada atende, em média, 25 usuários por setor.

Além da capacidade, foi analisada também a influência da ACI na cobertura da rede. Na tabela 5.17 observam-se os valores de percentual de cobertura obtidos para as operadoras isoladamente e na presença de ACI.

Cenário	Operadora 1		Operadora 2	
	Enlace subida	Enlace descida	Enlace subida	Enlace descida
Operadoras isoladas	90,51%	96,98%	89,89%	97,01%
Na presença de ACI	92,14%	98,32%	91,48%	98,05%

Tabela 5.17 – Cobertura para 12,2 kb/s no cenário urbano em 850 MHz

Não houve alteração significativa na cobertura tanto no enlace de subida quanto no

enlace de descida para o serviço de voz a 12,2 Kbps. Em alguns casos pode-se observar que o percentual de cobertura sofre um aumento não significativo pelo mesmo motivo já descrito no item a) da Seção 5.2.1.

b) Resultados para serviço de dados a 144 kb/s

Para este serviço foi suposto no planejamento inicial da rede considerando um total de 54 usuários. Primeiramente, a simulação foi feita considerando as operadoras atuando isoladamente. Do total de usuários planejados, a Operadora 1 atende 32 e a Operadora 2 atende 31. A seguir, foi feita a simulação com as duas operadoras presentes na mesma área geográfica. Nesta situação, o total de usuários atendidos passa a 24 pela Operadora 1 e 25 pela Operadora 2. Em outras palavras, houve uma redução de 25% no atendimento da Operadora 1 e 19,35% na Operadora 2. Nesse caso há uma redução percentual maior para ambas as Operadoras. Entretanto, em números absolutos, observa-se que houve uma redução de apenas 8 usuários em um total de 32 para a Operadora 1 e de 6 usuários de um total de 31 para a Operadora 2 configurando valores ainda aceitáveis em termos operacionais. As Figuras 5.60 e 5.61 ilustram graficamente as distribuições de usuários atendidos pelas Operadoras 1 e 2 na presença da interferência de canal adjacente. Cumpre informar que cada pixel em vermelho destas figuras corresponde a 1 usuário.

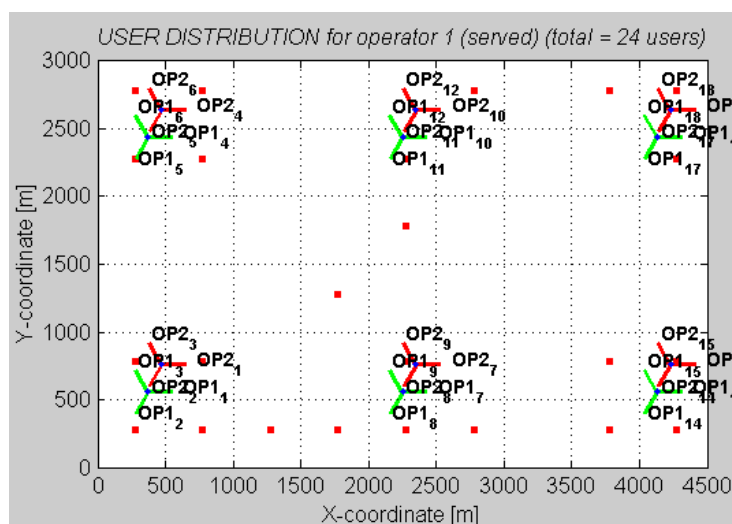


Figura 5.60 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI

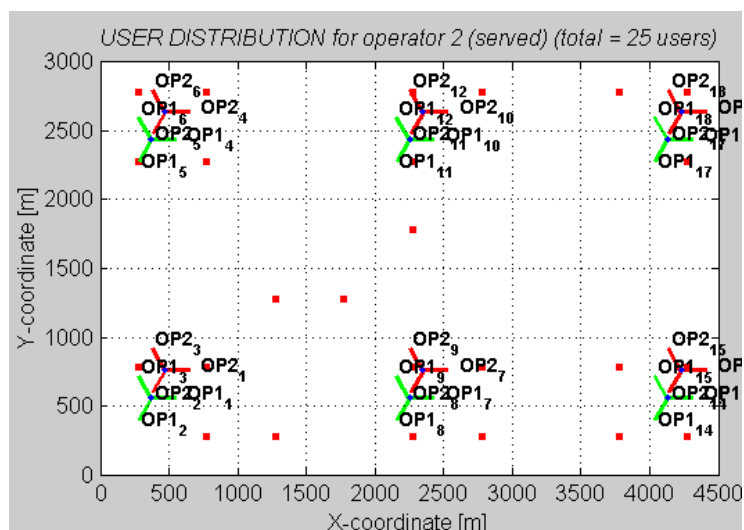


Figura 5.61 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI

Adicionalmente, foram realizadas simulações variando o valor da ACIR. Os gráficos obtidos nas Figuras 5.62 e 5.63 indicam não haver uma relação entre a ACIR e a redução da capacidade da rede. Isto ocorre pelo mesmo motivo descrito no item a) da Seção 5.2.1.

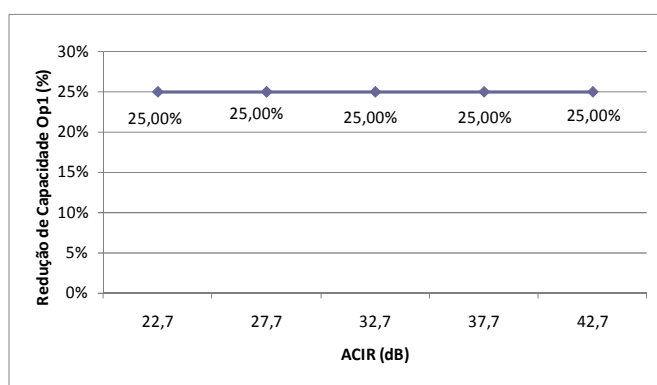


Figura 5.62 - Redução de Capacidade da Operadora 1 em função da ACIR

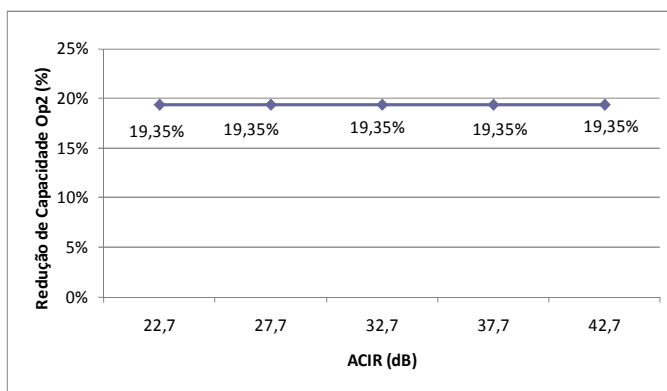


Figura 5.63 - Redução de Capacidade da Operadora 2 em função da ACIR

A segunda hipótese analisada foi correspondente à co-localização das estações rádio base das duas operadoras utilizando a mesma infra-estrutura de torre ou no topo de um prédio.

As Figuras 5.64 e 5.65 mostram a distribuição dos usuários atendidos por cada operadora nesta condição. Observou-se que a redução de capacidade nas Operadoras 1 e 2 baixou, respectivamente de 25% para 3,13% e de 19,35% para 12,9%. No caso em questão a melhoria situou-se em torno de 22% para a Operadora 1 e de 7% para a Operadora 2.

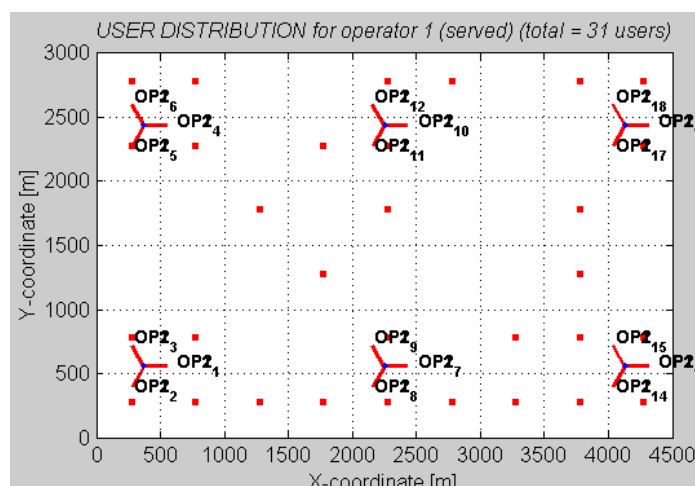


Figura 5.64 - Usuários atendidos pela Operadora 1 na presença de ACI após co-localização

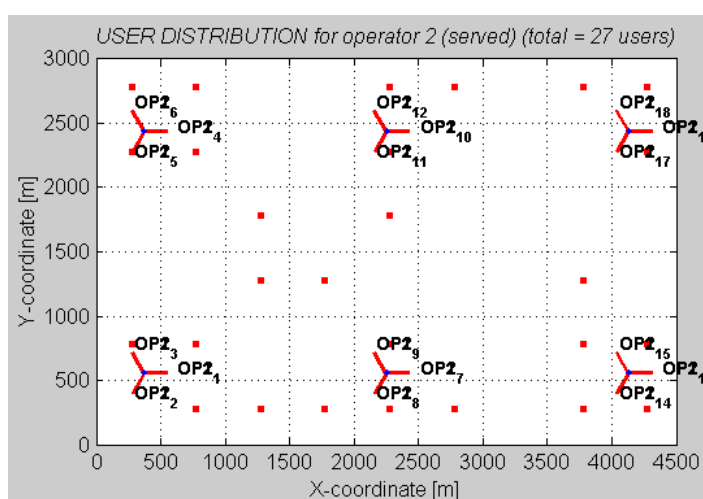


Figura 5.65 - Usuários atendidos pela Operadora 2 na presença de ACI após co-localização

Vale acrescentar que o planejamento inicial da rede previa o atendimento de 3 usuários por setor. Observou-se nos cenários simulados que a rede projetada atende, em média, 2 usuários por setor.

Por outro lado, a análise da cobertura da rede na Tabela 5.18 mostrou uma cobertura da ordem de 50 a 60% da área. Estes valores indicam uma cobertura deficiente, independentemente da situação considerada.

Cenário	Operadora 1		Operadora 2	
	Enlace subida	Enlace descida	Enlace subida	Enlace descida
Operadoras isoladas	64,29%	52,30%	63,99%	60,14%
Na presença de ACI	66,48%	52,27%	64,05%	53,64%

Tabela 5.18 – Cobertura para 144 kb/s no cenário urbano em 850 MHz

6 CONCLUSÕES

Esta dissertação teve por objetivo estudar a interferência entre duas operadoras WCDMA que utilizam portadoras adjacentes. Na análise numérica da solução para este problema foi empregado o simulador desenvolvido pela Nokia (NPSW) implementado em MATLAB.

A fim de prover uma estrutura adequada para o estudo realizado, os Capítulos iniciais do trabalho cobriram tópicos de fundamentação sobre o sistema WCDMA. Nesta linha, o Capítulo 2 apresentou as características básicas deste sistema, o Capítulo 3 tratou de aspectos associados à gestão dos recursos rádio, particularmente dos controles de potência e de *handover* e o Capítulo 4 serviu de introdução para o *software* NPSW.

A parte mais relevante do trabalho consta do Capítulo 5 onde foram descritos os resultados numéricos obtidos pelo uso do citado software. Este Capítulo foi dividido em duas Seções, uma tratando da otimização do sistema e outra sobre a questão da interferência de canal adjacente. Relativamente à otimização do sistema procurou-se definir valores ideais de largura do feixe e do ângulo de inclinação das antenas das estações Rádio Base. Nesta parte do estudo foram consideradas células com 3,4 e 6 setores e taxas de transmissão de 12,2 kb/s (serviço de voz) e 144 kb/s (serviço de dados). Verificou-se que, independentemente do número de setores e da taxa de transmissão, os valores adequados da largura do feixe e da inclinação das antenas são, respectivamente, 33° e 7°. Ainda neste contexto, foi analisada a utilização de MHA na entrada das estações rádio base. Os resultados mostraram que a introdução deste dispositivo não trouxe melhoria no desempenho da rede no caso do cenário simulado, pois o ganho de apenas 2 dB considerado não foi suficiente para proporcionar uma melhoria significativa. Caso o desempenho do sistema não esteja satisfatório, é recomendável a utilização de amplificadores de maior ganho, da ordem de 5 dB.

No que diz respeito à interferência de canal adjacente, o parâmetro de referência para avaliar este efeito foi a redução do número de usuários de uma rede fictícia estruturada com base em cenários definidos a partir das seguintes hipóteses:

- a) Separação de 5 MHz entre as portadoras adjacentes;
- b) Ambientes urbano denso e urbano;
- c) Frequências de 2100 e 850 MHz;
- d) Estações rádio base localizadas ou não em um mesmo ponto.

Os resultados numéricos obtidos levaram às seguintes conclusões:

1. Para o serviço de voz (12,2 kb/s), independentemente do cenário analisado, a redução do número de usuários da rede pode ser considerada aceitável em termos operacionais, a co-localização das estações rádio base mostrou-se eficiente para combater a ACI e o valor de 32,7 dB recomendado pelo 3GPP para a ACIR foi adequado;
2. Para o serviço de voz, foi satisfatória a cobertura das áreas nas frequências de 2100 e 850 MHz;
3. Para o serviço de dados em 2100 MHz, a redução do número de usuários da rede pode ser considerada aceitável em termos operacionais, a co-localização das estações rádio base mostrou-se eficiente para combater a ACI e o valor de 32,7 dB foi adequado;
4. Para o serviço de dados, a cobertura das áreas na frequência de 2100 MHz foi satisfatória apenas no enlace de subida. No enlace de descida, a cobertura foi inferior a 90% nos cenários urbano denso e urbano. Provavelmente, isto se deve ao fato do enlace de descida ser mais afetado pela interferência (Laiho, Wacker e Novosad, 2006);
5. Para o serviço de dados em 850 MHz, a redução foi da ordem ou superior a 10%. O caso mais crítico correspondeu ao cenário urbano;
6. Para o serviço de dados em 850 MHz, a cobertura das áreas foi deficiente nos cenários urbano denso e urbano, sendo particularmente crítica para o segundo caso;
7. Para o serviço de dados em 850 MHz, não houve um relacionamento entre a ACIR e a redução do número de usuários. O aumento da ACIR não implicou em melhoria no número de usuários atendidos. Provavelmente, conforme comentado no Capítulo 5, isto se deve ao fator limitante de capacidade de *hardware*;

8. A melhoria introduzida pela co-localização das estações rádio base foi sempre maior para uma das operadoras. Em alguns casos a diferença foi significativa. Provavelmente, conforme comentado no Capítulo 5, isto se deve aos procedimentos de cálculo implementados no simulador durante as iterações.

Espera-se que os resultados apresentados neste trabalho possam ser úteis como orientação na implantação de redes WCDMA. Entretanto, de acordo com os itens anteriormente relacionados, existem ainda inúmeros pontos que merecem ser analisados em maior detalhe, particularmente no que se refere a taxas de transmissão elevadas e para a faixa de frequência de 850 MHz. Neste sentido recomenda-se a adoção das seguintes linhas de ação:

- a) Com a finalidade de validar os resultados obtidos neste trabalho, obter junto às operadoras de redes WCDMA ou na literatura técnica informações sobre o desempenho de tais redes em função dos parâmetros aqui considerados;
- b) Estender o trabalho de simulação, aumentando o número de usuários a ser considerado nos cenários em estudo, investigando em maior profundidade os motivos que levaram às deficiências observadas e como corrigi-los;
- c) Implementar alterações no código fonte do simulador para possibilitar simulações de análise de interferência do canal adjacente em redes 3G com taxas de dados maiores, ou seja, HSDPA e HSUPA, e também simulações de interferência do canal adjacente entre redes WCDMA e GSM.

REFERÊNCIAS

- BAKER, M.P.J. AND MOULSLEY, J.T., “Power Control in UMTS Release '99”, 3G Mobile Telecommunication Technologies, Conf. Publ. N.471, IEE, May 2000, pp. 36–40.
- COST231, “Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands”, TD(91)73, September 1991.
- ECC REP082, “Compatibility Study for UMTS operating within the GSM900 and GSM1800 frequency bands”, Roskilde, May 2006.
- HATA, M., “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, VT-29(3), August 1980, pp. 317–325.
- HOLMA, H. AND TOSKALA A. “WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications”, 3ª Edição, John Wiley & Sons, 2004.
- JAKES, W.C., “Microwave Mobile Communications”, John Wiley & Sons, 1974, p. 126.
- VTC 2000 Spring Conf., Tokyo, May 2000, pp. 1006–1010.
- Laiho, Jaana; Wacker, Achim; Novosad, Tomas “Radio Network Planning and Optimisation for UMTS”, 2ª Edição, John Wiley & Sons, 2006.
- LAIHO-STEFFENS, J., WACKER, A. AND AIKIO, P., “The impact of the radio network planning and site configuration on the WCDMA network capacity and quality of service”. Proc. VTC 2000 Spring Conf., Tokyo, May 2000, pp. 1006–1010.

MELLO, LUIZ, “Planejamento de sistemas celulares”, CETUC - PUC/RIO, 2001.

TELECO, Página com diversas informações sobre Telecomunicações:

<http://www.teleco.com.br>. Último acesso realizado em Julho de 2010.

Wacker, Achim; Laiho, Jaana; Sipilä, Kari; Heiska, Kari; Heikkinen, Kai. “NPSW, Matlab Implementation of a Static Radio Network Planning Tool for wideband CDMA”, 2001.

WALFISCH, J. AND BERTONI H.L., “A Theoretical model of UHF Propagation in Urban Environments”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-36(12), December 1988, pp. 1788–1796.

3GPP, Technical Specification “Physical Layer Procedures (FDD)”, TS 25.214 v5.10.0, January 2005.

3GPP, Technical Specification “UE Radio Transmission and Reception (FDD)”, TS 25.101 v7.2.0 (2005-12).

3GPP, Technical Specification, “UTRA (BS) FDD Radio Transmission and Reception”, TS 25.104 v7.2.0 (2005-12).

3GPP, Página oficial do grupo: <http://www.3gpp.org>. Último acesso realizado em Julho de 2010.

3GPP, Technical Specification, “RF System Scenarios”, TR 25.942, v9.0.0 (2009-12).

3GPP, Technical Specification, “3rd Generation mobile system Release 1999 Specifications”, TS 21.101, V3.0.1 (2000-03).

3GPP, “Technical Specifications and Technical Reports for a UTRAN-based 3GPP system (Release 5)”, TS 21.101, V5.4.0 (2003-6).

3GPP, “Technical Specifications and Technical Reports for a UTRAN-based 3GPP system (Release 6)”, TS 21.101, V6.0.0 (2004-12).

3GPP, “Technical Specifications and Technical Reports for a UTRAN-based 3GPP system (Release 7)”, TS 21.101, V7.0.0 (2007-09).

3GPP, “Technical Specifications and Technical Reports for a UTRAN-based 3GPP system (Release 8)”, TS 21.101, V8.0.0 (2009-03).

3GPP, “Requirements for further Advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-ADVANCED)(Release 9)”, TR 36.913, v9.0.0 (2009-12).

3GPP, Technical Specification “Spreading and Modulation (FDD)”, TS 25.213 v5.5.0 (2003-12).

ANEXOS

ANEXO 1: Descrição dos Canais do Sistema WCDMA

Os canais existentes no sistema WCDMA são divididos em três grupos: Canais Lógicos, Canais de Transporte e Canais Físicos.

1) Canais Lógicos

Cada tipo de canal lógico é definido pelo tipo de informação a ser transferida e representa uma forma de organização do fluxo de informação. Estes canais não são implementados fisicamente e são divididos em dois tipos: a) canais de controle para transferência de informações do plano de controle; b) canais de tráfego para transferência de informações do plano do usuário.

1.1) Canais de Controle (CCH):

- BCCH (*Broadcast Control Channel*) – canal de difusão de informações de controle do sistema;
- PCCH (*Paging Control Channel*) - canal de controle de informações de busca que são utilizadas quando a rede não reconhece a posição do móvel na célula;
- DCCH (*Dedicated Control Channel*) - canal de controle informações dedicadas entre a estação móvel e a rede;
- CCCH (*Common Control Channel*) - canal comum de informações de controle entre as estações móveis e a rede.

1.2) Canais de Tráfego (TCH):

- DTCH (*Dedicated Traffic Channel*) - canal dedicado para transferência de informações sobre o usuário;
- CTCH (*Common Traffic Channel*) - canal comum para transferência informações de usuário para uma ou mais estações móveis;
- ODTCH (*ODMA Dedicated Traffic Channel*) - canal dedicado a uma estação móvel para transferência de informações de usuário entre estações móveis. Um ODTCH existe em

um enlace repetidor.

2) Canais de Transporte

Um canal de transporte é definido pela forma e pelas características com que os dados são transferidos sobre a interface aérea. Os canais de transporte são a interface entre a camada de enlace e a camada física e não são implementados fisicamente. Estes canais são divididos em comuns e dedicados.

2.1) Canal de Transporte Dedicado:

- DCH (*Dedicated Channel*) - canal dedicado usado tanto no enlace de descida quanto no enlace de subida.

2.2) Canais de Transporte Comum:

- BCH (*Broadcast Channel*) - canal de difusão destinado à transmissão de informações específicas e essenciais à comunicação. Sem decodificar este canal, uma estação móvel não pode se registrar no sistema;
- FACH (*Forward Access Channel*) - canal que transporta informações de controle para as estações móveis conhecidas em uma célula;
- PCH (*Paging Channel*) - canal de transporte utilizado no enlace de descida e é sempre transmitido para toda a célula;
- RACH (*Random Access Channel*) - destina-se ao transporte de informações de controle da estação móvel para a rede quando está em modo não conectado;
- CPCH (*Commom Packet Channel*) - é uma extensão do RACH e é destinado à transmissão de dados em modo “pacote” a partir da estação móvel;
- DSCH (*Downlink Shared Channel*) - canal utilizado quando há conexão em andamento, sendo destinado à transmissão de dados (dados de usuário ou dados de controle) em modo compartilhado, com emprego similar ao do FACH.

2.3) Mapeamento entre Canais Lógicos e Canais de Transporte:

A subcamada de controle de acesso ao meio (MAC - *Medium Access Control*) utiliza os serviços da camada física através dos canais de transporte e, portanto, existem seguintes conexões:

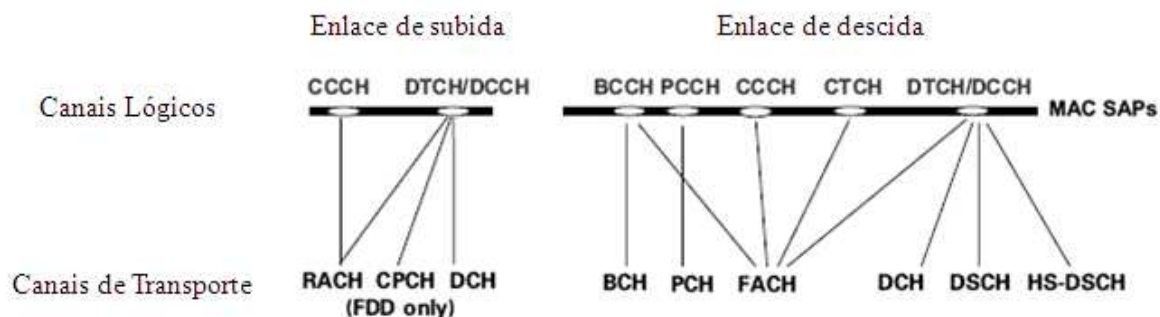


Figura A.1 – Mapeamento entre Canais Lógicos e Canais de Transporte

3) Canais Físicos

Os canais de transporte são codificados e combinados na taxa de dados oferecida pelos canais físicos. Um canal físico corresponde a uma frequência de portadora específica, uma codificação e, no caso do enlace de subida, corresponde também a uma fase relativa.

3.1) Canais Físicos do enlace de subida:

No enlace de subida existem dois canais dedicados e dois canais comuns que são descritos a seguir:

- DPDCH do enlace de subida (*Uplink Dedicated Physical Data Channel*) - utilizado para transportar dados dedicados;
- DPCCCH do enlace de subida (*Uplink Dedicated Physical Control Channel*) - utilizado para transportar informações de controle;
- PRACH (*Physical Random Access Channel*) - utilizado para transportar o canal RACH;
- PCPCH (*Physical Common Packet Channel*) - utilizado para transportar o canal

CPCH.

3.2) Canais Físicos do enlace de descida:

No enlace de descida existe um canal físico dedicado, um canal físico compartilhado e cinco canais de controle comum descritos a seguir:

- DPOCH do enlace de descida (*Downlink Dedicated Physical Channel*) - canal de transporte dedicado que é transmitido através de multiplexação no tempo;
- DSCH do enlace de descida (*Downlink Physical Shared Channel*) - transporta dados de usuário e de controle e pode ser compartilhado no tempo por múltiplos usuários;
- CPICH (Primary and Secondary Common Pilot Channels) - canal de enlace de descida de taxa fixa que leva uma sequência predefinida de bit/símbolo. Existem dois tipos, o primário e o secundário;
- CCPCH (Primary and Secondary Common Control Physical Channels) - a principal diferença entre o CCPCH primário e secundário é que o primário possui uma taxa fixa predefinida, enquanto o secundário pode suportar taxas variáveis;
- SCH (Synchronization Channel) - utilizado para transmitir as informações do canal de enlace de descida compartilhado. Ele é compartilhado por usuários através de multiplexação por código;
- PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) - utilizado para transmitir o DSCH;
- AICH (Acquisition Indicator Channel) - utilizado para indicar a recepção do PRACH pela ERB;
- PICH (Paging Indicator Channel) - utilizado para transmitir os indicadores de busca (PI - Paging Indicators) e é transmitido a uma taxa fixa e sempre associado com o S-CCPCH, onde o PCH é mapeado;
- CSICH (CPCH Status Indicator Channel) – canal indicador de estado que é necessário para o procedimento de acesso do CPCH;
- AP-AICH (Access Preamble Acquisition Indicator Channel) – canal de acesso de indicação de aquisição que é necessária para o procedimento de acesso do CPCH;
- CD/CA-ICH (*Collision Detection/Channel Assignment Indicator Channel*) – canal indicador de detecção de colisão ou de atribuição de canal que são necessários para o

procedimento de acesso do CPCH.

3.3) Mapeamento entre Canais de Transporte e Canais Físicos:

A transmissão efetiva de informação ocorre através dos canais físicos, cada qual com características próprias que justifiquem seu emprego em cada situação. O mapeamento pode se visto a seguir.

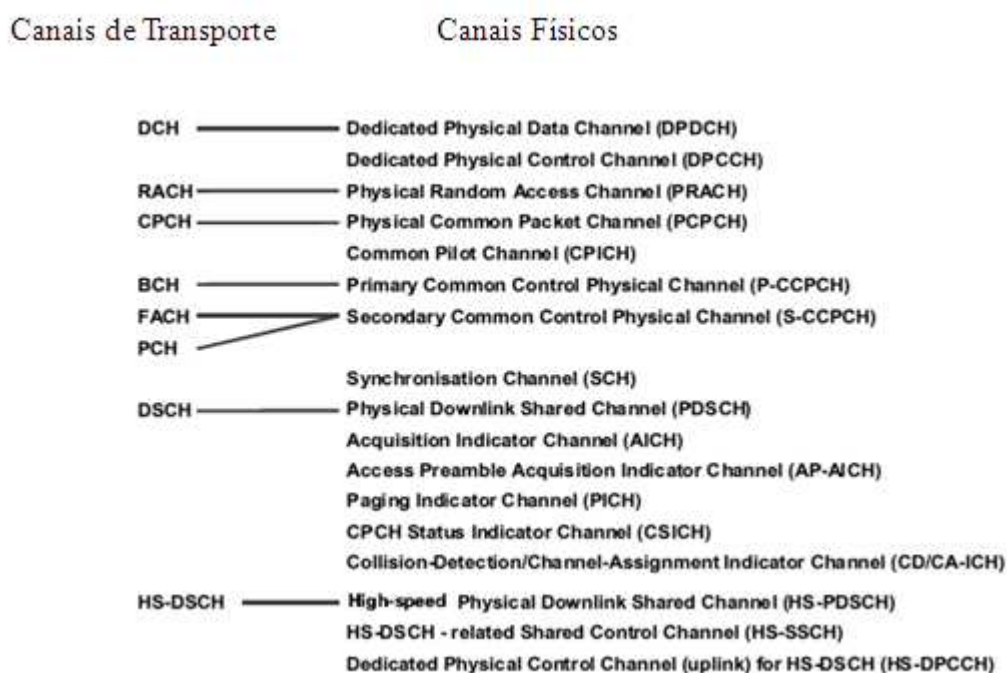


Figura A.2 – Mapeamento entre Canais de Transporte e Canais Físicos

ANEXO 2: Representação Gráfica da Estimativa de Cobertura na presença de ACI

1) Cenário Urbano Denso em 2100 MHz

1.1) Serviço de dados a 144 kb/s

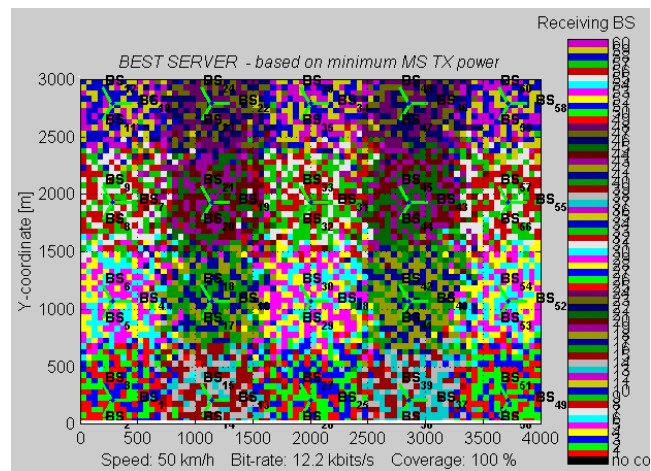


Figura A.3 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 isolada

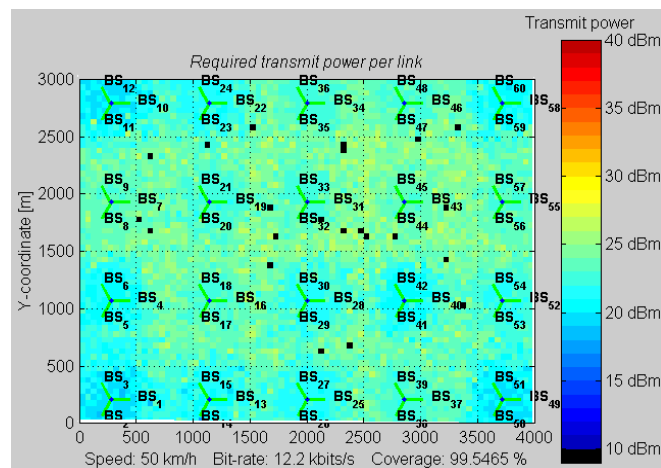


Figura A.4 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 isolada

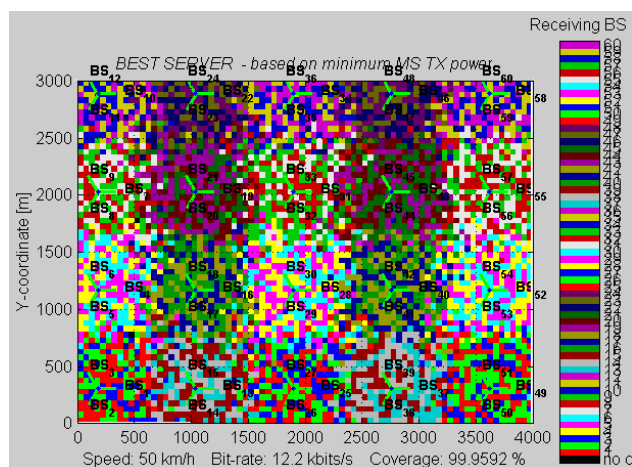


Figura A.5 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 isolada

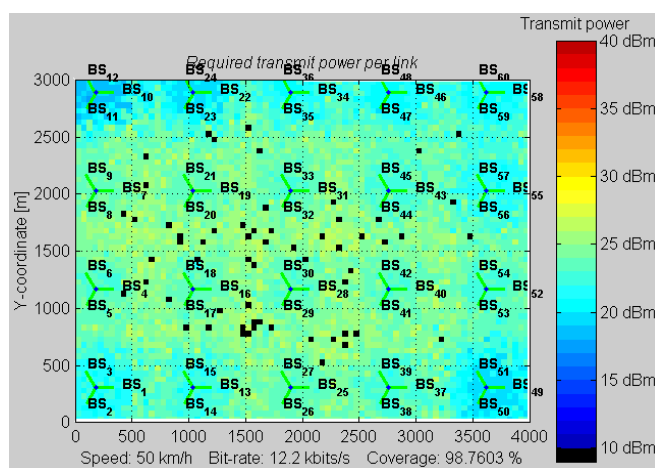


Figura A.6 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 isolada

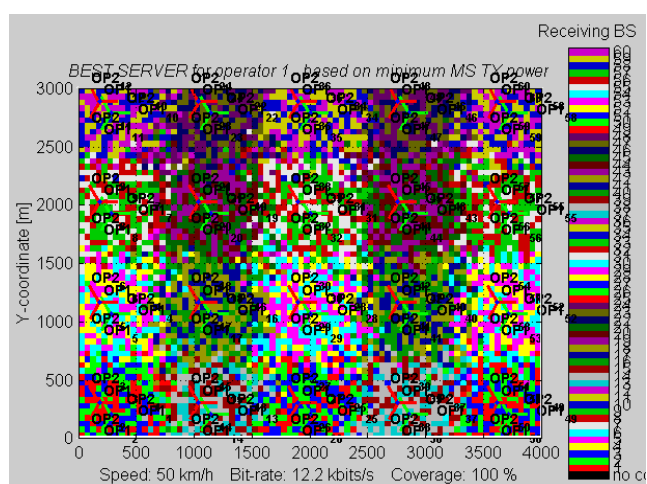


Figura A.7 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 na presença de
ACI

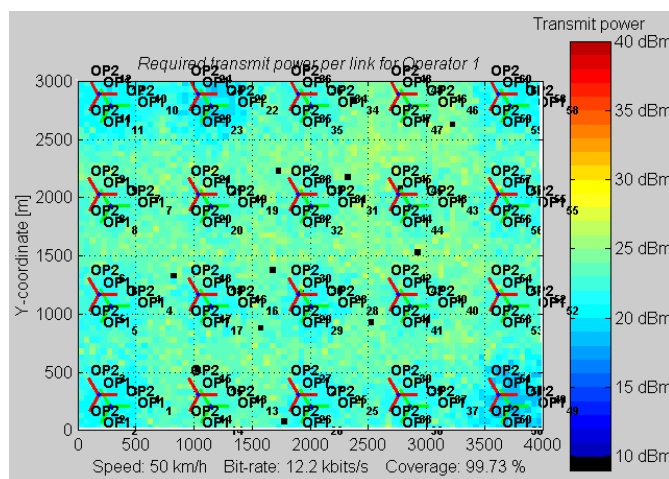


Figura A.8 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 na presença de ACI

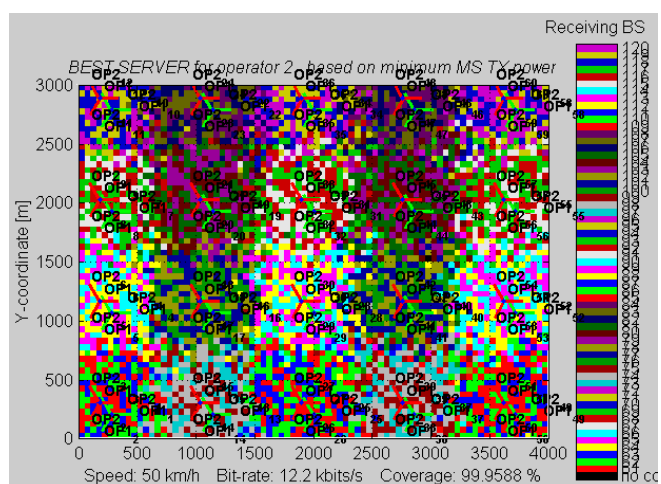


Figura A.9 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 na presença de ACI

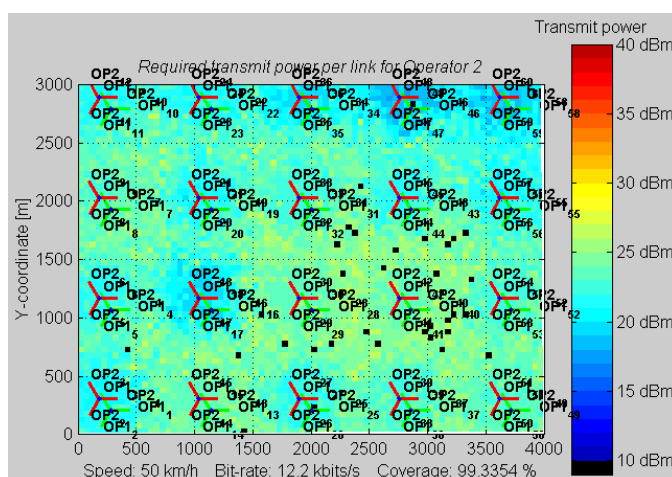


Figura A.10 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 na presença de ACI

2) Cenário Urbano Denso em 850 MHz

2.1) Serviço de voz a 12,2 kb/s

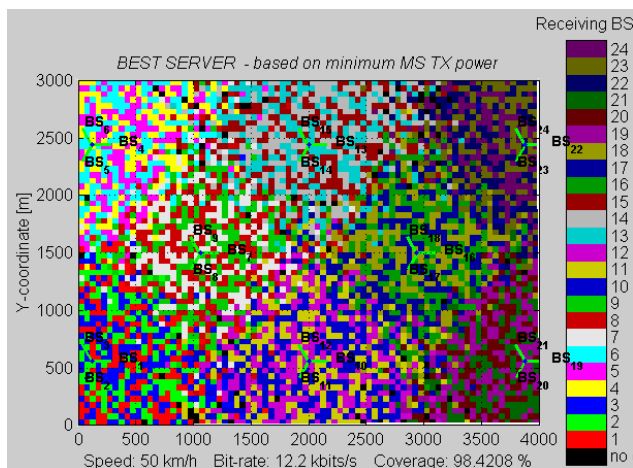


Figura A.11 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 isolada

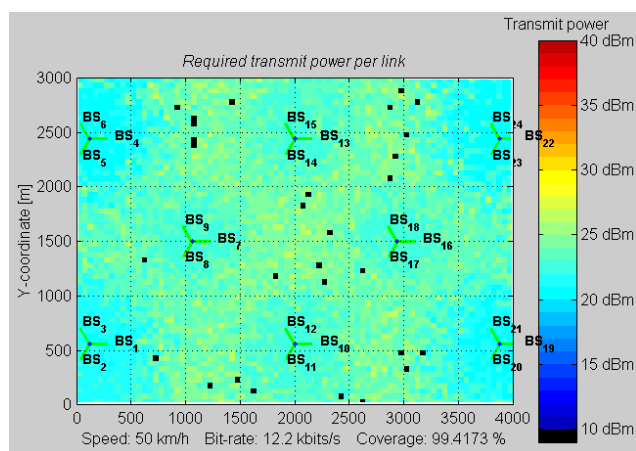


Figura A.12 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 isolada

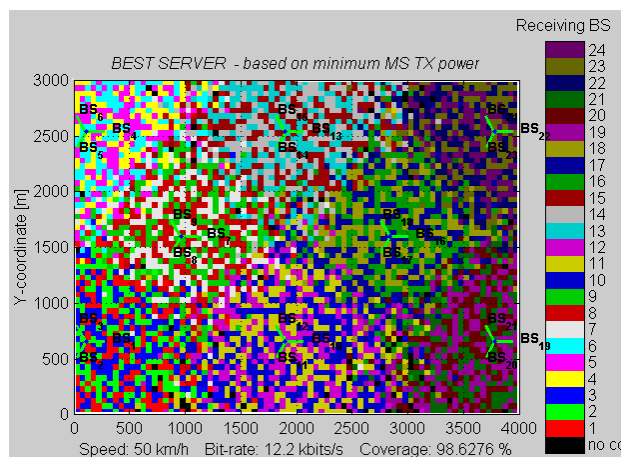


Figura A.13 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 isolada

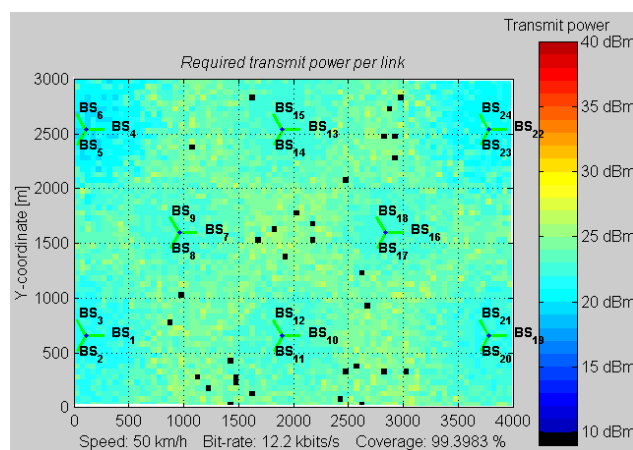


Figura A.14 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 isolada

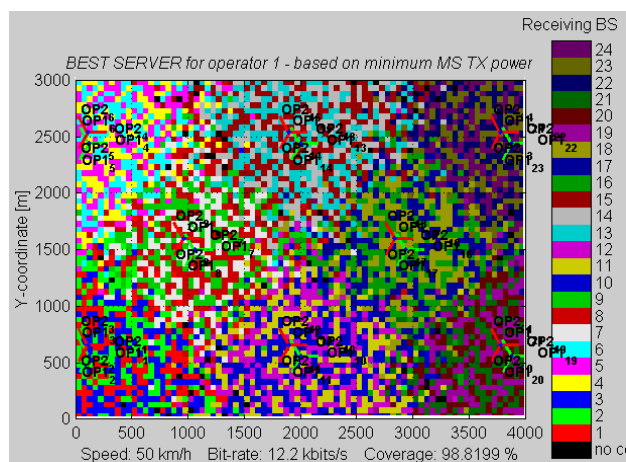


Figura A.15 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 na presença de
ACI

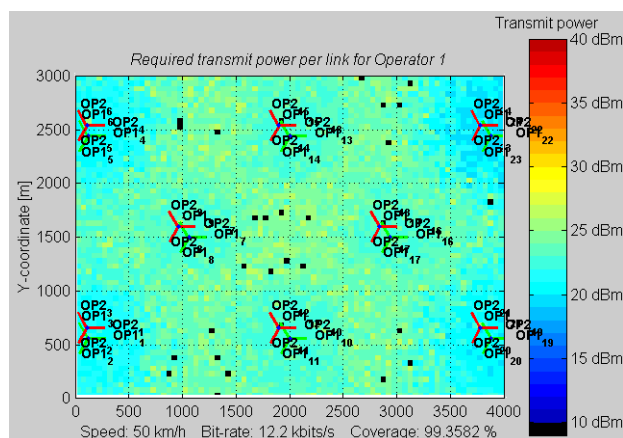


Figura A.16 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 na presença de
ACI

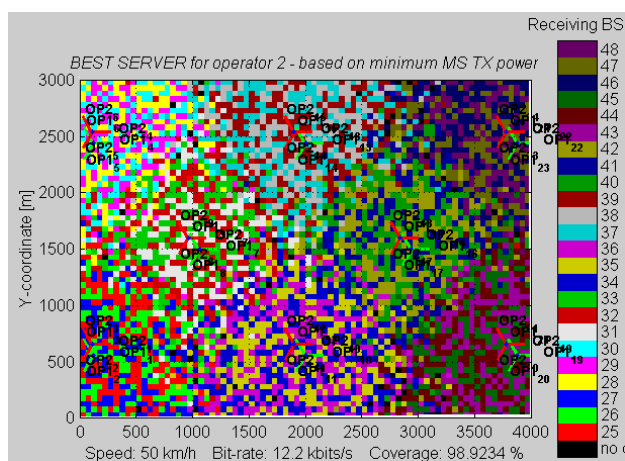


Figura A.17 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 na presença de
ACI

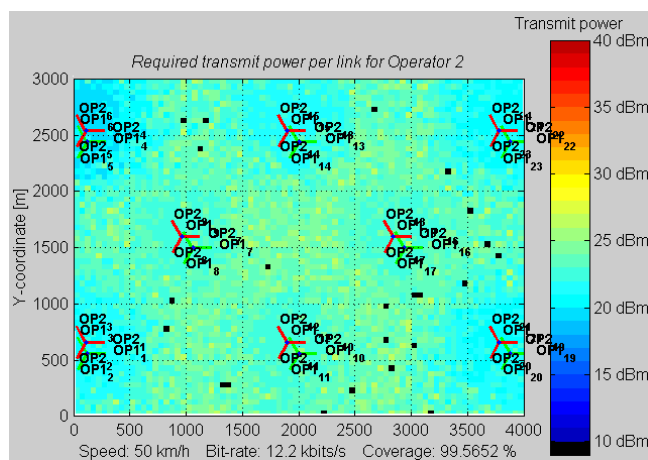


Figura A.18 - Cobertura para 12,2 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 na presença de
ACI

2.2) Serviço de dados a 144 kb/s

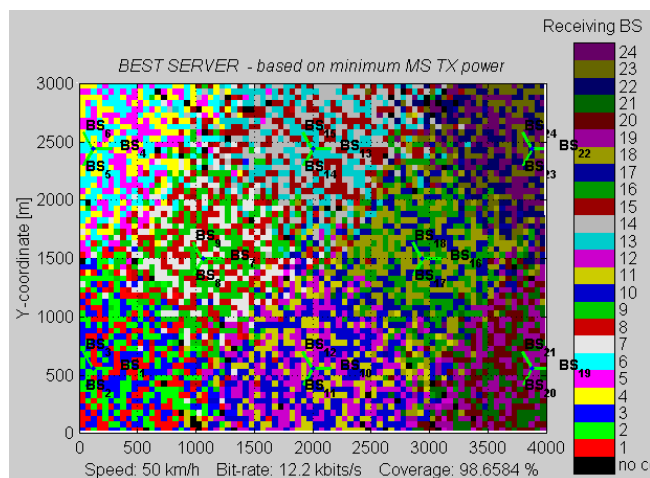


Figura A.19 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 isolada

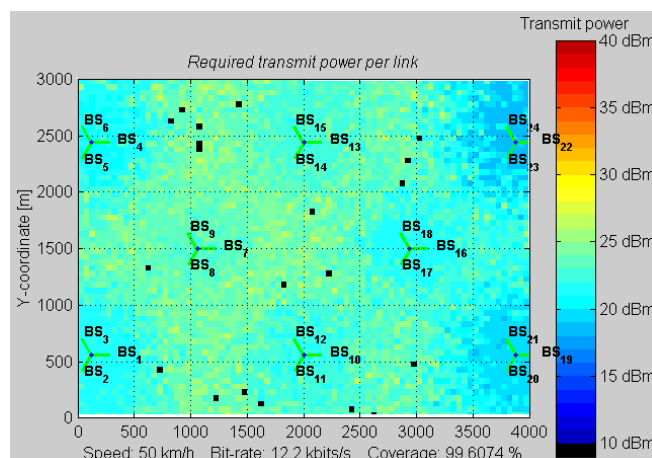


Figura A.20 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 isolada

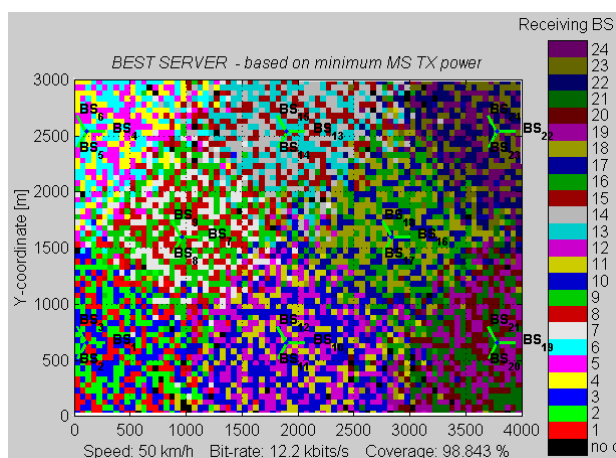


Figura A.21 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 isolada

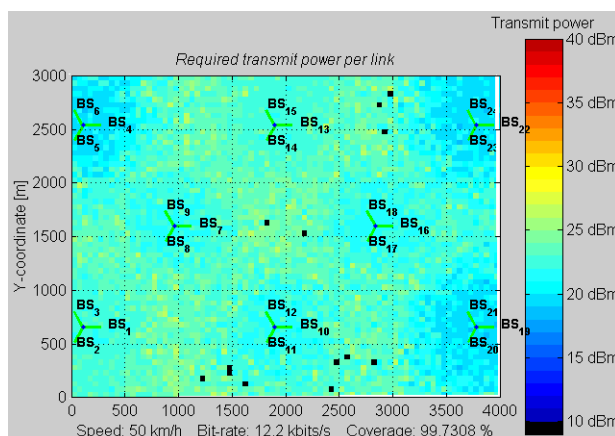


Figura A.22 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 isolada

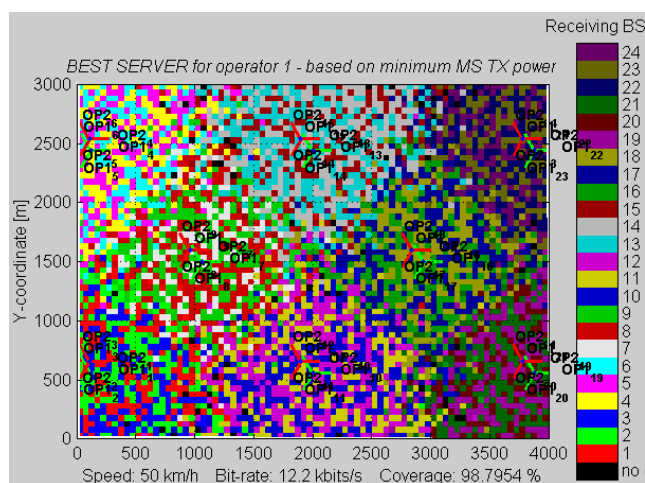


Figura A.23 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 1 na presença de
ACI

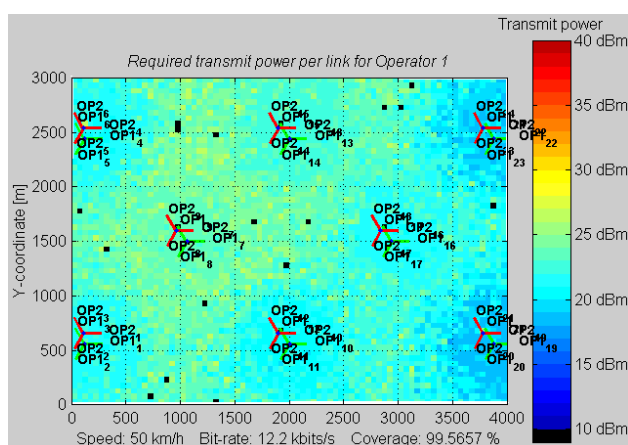


Figura A.24 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 1 na presença de
ACI

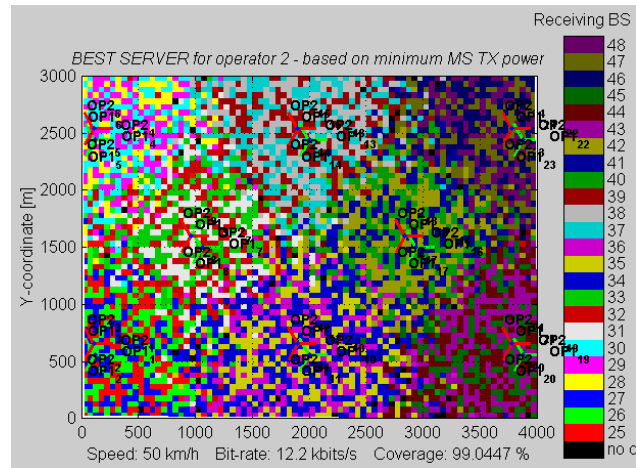


Figura A.25 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de subida para Operadora 2 na presença de
ACI

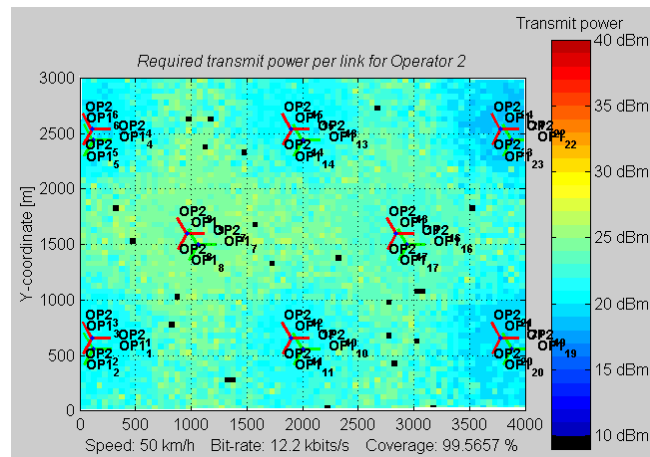


Figura A.26 - Cobertura para 144 kb/s no enlace de descida para Operadora 2 na presença de
ACI