



Antonio da Silva Nascimento Filho

**Planejamento de Sistemas Móveis em Banda Larga IEEE
802.16e-2005 em Frequências entre 2 e 11 GHz**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Luiz Alencar Reis da Silva Mello

Rio de Janeiro
Setembro de 2008



Antonio da Silva Nascimento Filho

**Planejamento de Sistemas Móveis em Banda Larga IEEE
802.16e-2005 em Frequências entre 2 e 11 GHz**

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

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello
Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações /PUC-Rio

Prof. Rodolfo Sabóia Lima de Souza

Centro de Estudos em Telecomunicações /PUC-Rio

Prof. Erasmus Couto Brazil de Miranda
UCP

Prof. Rodrigo Martins de Souza
Exército Brasileiro

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 05 de setembro de 2008

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

Antonio da Silva Nascimento Filho

Graduou-se em Engenharia de Telecomunicações pelo Instituto Militar de Engenharia – IME em 2002. No período de janeiro/2003 a janeiro/2006 foi responsável pela manutenção de sistemas de radiocomunicação em HF do Exército Brasileiro no âmbito do RJ e ES. No período de janeiro/2006 a janeiro/2007 foi responsável pela manutenção de centrais telefônicas do Exército no âmbito do RJ e ES. Desde fevereiro/2007 é administrador de redes de voz e dados do Exército Brasileiro no âmbito do RJ e ES, bem como participa da elaboração de projetos de redes de comunicação via rádio microondas. Suas áreas de interesse são rádio-propagação e sistemas de comunicações móveis.

Ficha Catalográfica

Nascimento Filho, Antonio da Silva

Planejamento de sistemas móveis em banda larga IEEE 802.16e-2005 em frequências entre 2 e 11 GHz / Antonio da Silva Nascimento Filho; orientador: Luiz Alencar Reis da Silva Mello. – 2008.

199 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. 802.16e-2005. 3. WiMAX móvel. 4. Planejamento de sistemas de comunicações móveis. 5. OFDM. 6. MIMO. 7. Antenas inteligentes. 8. Códigos espaço-temporais. I. Mello, Luiz Alencar Reis da Silva. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Dedico o sucesso desta etapa da minha vida a quem sempre me incentivou a enfrentar desafios, ensinou e esteve presente, nos momentos certos e incertos: a Deus pela graça da vida, aos meus pais e família pelo amor e compreensão e aos amigos por seu apoio e incentivo.

"Tudo que está no plano da realidade já foi sonho um dia."
Leonardo da Vinci

Agradecimentos

A minha família, pelo incentivo e compreensão durante o período do desenvolvimento deste trabalho e permanente fonte de inspiração.

Ao meu orientador, Professor Luiz A. R. da Silva Mello, pela sua contínua assessoria e apoio pessoal, moral e profissional.

Aos amigos, chefes e subordinados do 2º CTA (Exército Brasileiro), pelo apoio profissional e amizade.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

Nascimento Filho, Antonio da Silva; Silva Mello, Luiz Alencar Reis da. **Planejamento de Sistemas Móveis em Banda Larga IEEE 802.16e-2005 em Frequências entre 2 e 11 GHz**. Rio de Janeiro, 2008. 199p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O projeto de sistemas móveis em banda larga requer um planejamento detalhado devido à necessidade de maximizar a utilização da largura de banda disponível, maximizar a capacidade da rede, garantir requisitos mínimos de disponibilidade e minimizar os custos de implantação e operação da rede. Este trabalho apresenta uma metodologia de projeto a ser empregada em sistemas móveis em banda larga baseados no padrão IEEE 802.16e-2005 (WiMAX móvel). São apresentadas as novas tecnologias empregadas na elaboração do padrão, o modelo de propagação utilizado no cálculo de enlace, o cálculo da interferência co-canal, o cálculo da porcentagem de cobertura de área, o ganho de subcanalização e o cálculo da capacidade do canal. São analisadas abordagens para redução da interferência co-canal, visando maximizar a capacidade da rede e por fim é apresentado um estudo de caso utilizando uma ferramenta computadorizada de planejamento de redes móveis.

Palavras-chave

802.16e-2005, WiMAX Móvel, Planejamento de Sistemas de Comunicações Móveis, OFDM, MIMO, Antenas Inteligentes, Códigos Espaço-Temporais

Abstract

Nascimento Filho, Antonio da Silva; Silva Mello, Luiz Alencar Reis da (Advisor). **Mobile Broadband IEEE 802.16e-2005 Systems Planning for Frequencies between 2 and 11 GHz**. Rio de Janeiro, 2008. 199p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

The design of mobile broadband systems requires detailed planning due to necessity of maximizing the use of available bandwidth, network capacity, achieve minimum availability levels and minimize network implementation and operational costs. This work presents a design methodology to be employed in mobile broadband systems based on the IEEE Std 802.16-2005 (Mobile WiMAX). Here are presented the new technologies employed in the standard, the propagation model used for link budget, co-channel interference, coverage area percentage, sub-channelization gain and channel capacity calculations. Approaches for co-channel interference reduction are analyzed aiming to maximize network capacity and at the end a case study is presented using a computerized tool for mobile network planning.

Key words

802.16e-2005, Mobile WiMAX, Mobile Communication Systems Planning, OFDM, MIMO, Smarte Antennas, Space Time Codes

Sumário

ABREVIATÓES E SIGLAS	19
1 INTRODUÇÃO	24
1.1. REDES DE ACESSO SEM FIO EM BANDA LARGA	24
1.2. OBJETIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	26
2 DESCRIÇÃO DO PADRÃO IEEE 802.16e-2005	27
2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS	27
2.2. NOVAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS	29
2.2.1. OFDM	29
2.2.2. OFDMA	32
2.2.3. OFDMA escalável (S-OFDMA)	36
2.2.4. OFDMA TDD	37
2.2.5. Reuso de Frequência Fracionário	37
2.2.6. Antenas Inteligentes	39
2.2.7. MIMO (MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)	46
2.2.8. Códigos Espaço-Temporais	47
2.3. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PADRÃO IEEE 802.16e-2005	51
2.3.1. Suporte MAC à camada física (PHY)	51
2.3.1.1. Duplexação por Divisão do Tempo (TDD)	51
2.3.1.2. Procedimentos para compartilhamento de bandas de frequência	52
2.3.1.3. Serviço de entrega de dados para rede móvel	53
2.3.2. A Camada Física (PHY)	54
3 PLANEJAMENTO DE SISTEMAS WiMAX MÓVEIS	57
3.1. METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DE COBERTURA	57
3.2. CÁLCULO DE ENLACE	59
3.2.1. Modelo de Propagação de Erceg <i>et al</i>	59

3.2.2. Requisitos Mínimos dos Receptores 802.16e-2005	64
3.3. CÁLCULO DA INTERFERÊNCIA CO-CANAL	66
3.3.1. Redução da Interferência através da Setorização	74
3.3.1.1. Cálculo da Redução da Interferência Usando Setorização Tripla	74
3.3.1.2. Cálculo da Redução da Interferência Usando Setorização Sêxtupla	77
3.4. LIMITAÇÃO DO RAIOS DEVIDO À DURAÇÃO DO TTG/RTG	80
3.5. CÁLCULO DA PORCENTAGEM DE COBERTURA DE ÁREA E MARGEM DE DESVANECIMENTO POR SOMBREAMENTO	84
3.6. GANHO DE SUBCANALIZAÇÃO	91
3.7. CÁLCULO DO RAIOS DAS CÉLULAS PARA INTERFACE AÉREA WirelessMAN OFDMA PHY	92
3.8. CÁLCULO DA CAPACIDADE DO CANAL	96
4 ESTUDO DE CASO	99
4.1. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	99
4.1.1. Especificações técnicas da ERB e da EM utilizadas	100
4.2. CÁLCULO DE ENLACE E RAIOS DAS CÉLULAS	101
4.3. PROJETO	102
4.3.1. Configurações do Projeto	102
4.3.1.1. Técnica de Acesso	102
4.3.1.2. Modelo de Propagação	105
4.3.1.3. Configurações da ERB e EM padrões	108
4.3.1.4. Resolução de Cálculo das Células	111
4.3.1.5. Distribuição das Células no Terreno	112
4.3.1.6. Ferramentas de Análise	113
4.3.2. Resultados das Simulações	116
4.3.2.1. Resultados para Rede Tri-Setorizada e Frequência Única	116
4.3.2.2. Resultados para Rede Não-Setorizada e Frequência Única	121
4.3.2.3. Rede com Setorização Tripla, Razão de Reuso Um e	

Três Canais	123
4.3.2.4. Rede com Setorização Tripla, Razão de Reuso Três e Nove Canais	125
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	128
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
ANEXO A ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS RÁDIOS	133
A.1 Estação Base Airspan HiperMAX	133
A.2 Estação Móvel Airspan MiMAX	134
ANEXO B PROGRAMAS PARA CÁLCULO DA SIR	135
B.1 Cálculo da SIR para um anel interferente, sem setorização	135
B.2 Cálculo da SIR para dois anéis interferentes, sem setorização	137
B.3 Cálculo da SIR para um anel interferente, com setorização tripla e sêxtupla	138
B.4 Cálculo dos gráficos da SIR para reuso de frequência unitário	141
ANEXO C PROGRAMA PARA CÁLCULO DO RAIO DA CÉLULA	146
ANEXO D PROGRAMA PARA CÁLCULO DO PERCENTUAL DE COBERTURA DE ÁREA	149
ANEXO E TABELAS DE CÁLCULO DO RAIO DA CÉLULA	150
ANEXO F PROGRAMA PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE DO CANAL	198

Lista de figuras

Figura 1 – Perfil de Sistema do WiMAX Móvel	28
Figura 2 – Tons OFDM	30
Figura 3 – (a) Resposta do canal e sinal a ser transmitido. (b) Desvanecimento seletivo em frequência. (c) Espectro OFDM é robusto contra desvanecimento seletivo	30
Figura 4 – Exemplo de transmissor OFDM	31
Figura 5 – Arquitetura básica de um sistema OFDM	31
Figura 6 – Subcanais OFDMA	33
Figura 7 – Sinal OFDMA ao longo do tempo e das frequências	35
Figura 8 – Exemplo de espectro OFDMA	35
Figura 9 – Estrutura das subportadoras (subcanais) OFDMA	36
Figura 10 – Estrutura de um quadro multizona	38
Figura 11 – Reuso de frequência fracionário	39
Figura 12 – Padrão de cobertura setorizada de sistema de feixe comutado	40
Figura 13 – Diferença entre uma estratégia comutada e uma adaptativa	41
Figura 14 – Cobertura de um conjunto adaptativo: Lóbulo principal voltado para usuário e nulo voltado para interferência co-canal	41
Figura 15 – Padrão de cobertura para feixe comutado e conjunto de antenas adaptativas	42
Figura 16 – Exemplo de sistema adaptativo atendendo a dois usuários simultaneamente no mesmo canal	44
Figura 17 – Comparação entre esquemas de antenas inteligentes (a, b, c) e sistemas MIMO (d)	47
Figura 18 – Diagrama de um sistema MIMO de transmissão sem fio.	48
Figura 19 – Multiplexação espacial básica com 3 antenas de TX e RX.	49
Figura 20 – Sistema de transmissão com 4 camadas horizontais.	50
Figura 21 – Sistema de transmissão com 4 camadas diagonais.	51
Figura 22 – Estrutura do quadro TDD	52
Figura 23 – Estrutura temporal do símbolo OFDMA	55

Figura 24 – Descrição de frequências OFDMA (exemplo com 3 canais)	56
Figura 25 – (a) Plano de Reuso de frequência $N = 7$;	
(b) Sistema celular de 7 grupos	66
Figura 26 – Interferências em configurações celulares hexagonais	66
Figura 27 – (a) Distância ao transmissor interferente;	
(b) Distância ao transmissor desejado	68
Figura 28 – SIR versus h_B para $N = 1$ e Terreno Categoria A, sem setorização	73
Figura 29 – SIR versus h_B para $N = 1$ e Terreno Categoria B, sem setorização	73
Figura 30 – SIR versus h_B para $N = 1$ e Terreno Categoria C, sem setorização	73
Figura 31 – Interferência com setorização tripla.	74
Figura 32 – SIR versus h_B para $N = 1$ e Terreno Categoria A, setorização tripla	76
Figura 33 – SIR versus h_B para $N = 1$ e Terreno Categoria B, setorização tripla	76
Figura 34 – SIR versus h_B para $N = 1$ e Terreno Categoria C, setorização tripla	76
Figura 35 – Interferência com setorização sêxtupla.	77
Figura 36 – SIR versus h_B para $N = 1$ e Terreno Categoria A, setorização sêxtupla	78
Figura 37 – SIR versus h_B para $N = 1$ e Terreno Categoria B, setorização sêxtupla	79
Figura 38 – SIR versus h_B para $N = 1$ e Terreno Categoria C, setorização sêxtupla	79
Figura 39 – Área de cobertura do estudo de caso	99
Figura 40 – Relevo da região em estudo	100
Figura 41 – Configurando os Parâmetros da Técnica de Acesso	103
Figura 42 – Técnica de Acesso: (a) Largura de banda do sistema e do usuário; (b) Perdas e margens	103
Figura 43 – Escolha do Modelo de Propagação	105
Figura 44 – Configuração dos Modelos de Propagação	106

Figura 45 – Configuração dos Equipamentos: ERBs e sem	108
Figura 46 – Configurações da ERB padrão	110
Figura 47 – Configurações da EM padrão	111
Figura 48 – Parâmetros gerais dos gráficos das células	111
Figura 49 – Ilustração das ERBs na área de cobertura	112
Figura 50 – Medidor de intensidade de sinal	113
Figura 51 – (a) Gerenciador de Análise; (b) Filtros de Análise; (c) Configuração dos Gráficos; (d) Configuração dos níveis de sinal; (e) Resultados da Análise	115
Figura 52 – Análise de melhor servidor	117
Figura 53 – Intensidade do sinal na área de cobertura	118
Figura 54 – Cobertura de cada modulação, sem considerar margem de desvanecimento	118
Figura 55 – Cobertura de cada modulação, considerando a margem de desvanecimento	119
Figura 56 – Análise de interferência entre as células	119
Figura 57 – Análise da relação Sinal-Ruído+Interferência	120
Figura 58 – Análise de melhor servidor	121
Figura 59 – Cobertura de cada modulação, considerando a margem de desvanecimento	122
Figura 60 – Análise de interferência entre as células	122
Figura 61 – Análise da relação Sinal-Ruído+Interferência	123
Figura 62 – Alocação de canais em cada célula	124
Figura 63 – Análise de interferência entre as células	124
Figura 64 – Análise da relação Sinal-Ruído+Interferência	125
Figura 65 – Alocação de canais em cada célula	126
Figura 66 – Análise de interferência entre as células	126
Figura 67 – Análise da relação Sinal-Ruído+Interferência	127

Lista de tabelas

Tabela 1 – Parâmetros de Escalabilidade do OFDMA	36
Tabela 2 – Características e benefícios de sistemas de antenas inteligentes	45
Tabela 3 – Tipos de serviços de entrega de dados	53
Tabela 4 – Nomenclatura das interfaces aéreas [Tabela 1 do IEEE Std 802.16-2004]	54
Tabela 5 – Parâmetros do Modelo Erceg <i>et al</i>	61
Tabela 6 – Relação Sinal Ruído Mínima para interface aérea WirelessMAN OFDMA	65
Tabela 7 – Influência do segundo anel interferente	68
Tabela 8 – Interferência co-canal no Modelo Erceg <i>et al</i> considerando apenas o 1º anel interferente para $h_B = 30$ m	71
Tabela 9 – Interferência co-canal no Modelo Erceg <i>et al</i> considerando os 1º e 2º anéis interferentes para $h_B = 30$ m	71
Tabela 10 – Interferência co-canal no Modelo Erceg <i>et al</i> considerando os 1º e 2º anéis interferentes para $h_B = 18$ m	72
Tabela 11 – Interferência co-canal no Modelo Erceg <i>et al</i> com setorização tripla e considerando apenas o 1º anel interferente para $h_B = 30$ m	75
Tabela 12 – Interferência co-canal no Modelo Erceg <i>et al</i> com setorização sêxtupla e considerando apenas o 1º anel interferente para $h_B = 30$ m	78
Tabela 13 – Duração dos intervalos TTG e RTG em termos de um OS	80
Tabela 14 – Cálculo da duração de um <i>slot</i> físico (PS)	81
Tabela 15 – Duração dos intervalos TTG e RTG em μs	81
Tabela 16 – Valores de T_{UL-ERB} para o caso $T_{DL-ERB} = 3T_{UL-ERB}$	84
Tabela 17 – Raio máximo das células devido à duração do TTG	84
Tabela 18 – Desvio padrão para cálculo do percentual de cobertura de área	90
Tabela 19 – Margem para cobertura de área desejada	90

Tabela 20 – Número de subcanais para alocação PUSC	92
Tabela 21 – Raio das Células com $f = 2,5$ GHz, CAP = 90% e alocação PUSC	93
Tabela 22 – Raio das Células com $f = 3,5$ GHz, CAP = 90% e alocação PUSC	93
Tabela 23 – Raio das Células com $f = 2,5$ GHz, CAP = 95% e alocação PUSC	94
Tabela 24 – Raio das Células com $f = 3,5$ GHz, CAP = 95% e alocação PUSC	94
Tabela 25 – Raio das Células com $f = 2,5$ GHz, CAP = 99% e alocação PUSC	95
Tabela 26 – Raio das Células com $f = 3,5$ GHz, CAP = 99% e alocação PUSC	95
Tabela 27 – Características da PHY OFDMA conforme o Perfil de Sistema	96
Tabela 28 – Capacidade máxima do canal para faixa de 2,5 GHz, com SNR mínima	97
Tabela 29 – Capacidade máxima do canal para faixa de 3,5 GHz, com SNR mínima	97
Tabela 30 – Especificações da Estação Rádio-Base	100
Tabela 31 – Especificações da Estação Móvel	101
Tabela 32 – Raio das Células com $f = 2,5$ GHz, CAP = 90% e alocação PUSC	102
Tabela 33 – Alturas das ERBs do estudo de caso	107
Tabela 34 – Parâmetros dos modelos de propagação de cada célula	108
Tabela 35 – Características Técnicas da Estação Base Airspan HiperMAX	133
Tabela 36 – Características Técnicas da Estação Móvel Airspan MiMAX	134
Tabela 37 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, QPSK 1/2, $f = 2,5$ GHz, CAP = 90 %	150
Tabela 38 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, QPSK 3/4, $f = 2,5$ GHz, CAP = 90 %	151

Tabela 39 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 16-QAM 1/2, $f = 2,5$ GHz, CAP = 90 %	152
Tabela 40 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 16-QAM 3/4, $f = 2,5$ GHz, CAP = 90 %	153
Tabela 41 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 1/2, $f = 2,5$ GHz, CAP = 90 %	154
Tabela 42 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 2/3, $f = 2,5$ GHz, CAP = 90 %	155
Tabela 43 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 3/4, $f = 2,5$ GHz, CAP = 90 %	156
Tabela 44 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 5/6, $f = 2,5$ GHz, CAP = 90 %	157
Tabela 45 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, QPSK 1/2, $f = 3,5$ GHz, CAP = 90 %	158
Tabela 46 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, QPSK 3/4, $f = 3,5$ GHz, CAP = 90 %	159
Tabela 47 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 16-QAM 1/2, $f = 3,5$ GHz, CAP = 90 %	160
Tabela 48 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 16-QAM 3/4, $f = 3,5$ GHz, CAP = 90 %	161
Tabela 49 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 1/2, $f = 3,5$ GHz, CAP = 90 %	162
Tabela 50 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 2/3, $f = 3,5$ GHz, CAP = 90 %	163
Tabela 51 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 3/4, $f = 3,5$ GHz, CAP = 90 %	164
Tabela 52 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 5/6, $f = 3,5$ GHz, CAP = 90 %	165
Tabela 53 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, QPSK 1/2, $f = 2,5$ GHz, CAP = 95 %	166
Tabela 54 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, QPSK 3/4, $f = 2,5$ GHz, CAP = 95 %	167
Tabela 55 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	

16-QAM 1/2, $f = 2,5$ GHz, CAP = 95 %	168
Tabela 56 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
16-QAM 3/4, $f = 2,5$ GHz, CAP = 95 %	169
Tabela 57 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
64-QAM 1/2, $f = 2,5$ GHz, CAP = 95 %	170
Tabela 58 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
64-QAM 2/3, $f = 2,5$ GHz, CAP = 95 %	171
Tabela 59 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
64-QAM 3/4, $f = 2,5$ GHz, CAP = 95 %	172
Tabela 60 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
64-QAM 5/6, $f = 2,5$ GHz, CAP = 95 %	173
Tabela 61 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
QPSK 1/2, $f = 3,5$ GHz, CAP = 95 %	174
Tabela 62 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
QPSK 3/4, $f = 3,5$ GHz, CAP = 95 %	175
Tabela 63 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
16-QAM 1/2, $f = 3,5$ GHz, CAP = 95 %	176
Tabela 64 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
16-QAM 3/4, $f = 3,5$ GHz, CAP = 95 %	177
Tabela 65 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
64-QAM 1/2, $f = 3,5$ GHz, CAP = 95 %	178
Tabela 66 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
64-QAM 2/3, $f = 3,5$ GHz, CAP = 95 %	179
Tabela 67 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
64-QAM 3/4, $f = 3,5$ GHz, CAP = 95 %	180
Tabela 68 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
64-QAM 5/6, $f = 3,5$ GHz, CAP = 95 %	181
Tabela 69 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
QPSK 1/2, $f = 2,5$ GHz, CAP = 99 %	182
Tabela 70 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
QPSK 3/4, $f = 2,5$ GHz, CAP = 99 %	183
Tabela 71 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC,	
16-QAM 1/2, $f = 2,5$ GHz, CAP = 99 %	184

Tabela 72 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 16-QAM 3/4, $f = 2,5$ GHz, CAP = 99 %	185
Tabela 73 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 1/2, $f = 2,5$ GHz, CAP = 99 %	186
Tabela 74 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 2/3, $f = 2,5$ GHz, CAP = 99 %	187
Tabela 75 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 3/4, $f = 2,5$ GHz, CAP = 99 %	188
Tabela 76 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 5/6, $f = 2,5$ GHz, CAP = 99 %	189
Tabela 77 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, QPSK 1/2, $f = 3,5$ GHz, CAP = 99 %	190
Tabela 78 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, QPSK 3/4, $f = 3,5$ GHz, CAP = 99 %	191
Tabela 79 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 16-QAM 1/2, $f = 3,5$ GHz, CAP = 99 %	192
Tabela 80 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 16-QAM 3/4, $f = 3,5$ GHz, CAP = 99 %	193
Tabela 81 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 1/2, $f = 3,5$ GHz, CAP = 99 %	194
Tabela 82 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 2/3, $f = 3,5$ GHz, CAP = 99 %	195
Tabela 83 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 3/4, $f = 3,5$ GHz, CAP = 99 %	196
Tabela 84 – Cálculo de Enlace OFDMA PHY, PUSC, 64-QAM 5/6, $f = 3,5$ GHz, CAP = 99 %	197

ABREVIações E SIGLAS

3-DES	triple data encryption standard
AAS	adaptive antenna system
AGC	automatic gain control
AK	authorization key
ARQ	automatic repeat request
ATDD	adaptive time division duplexing
ATM	asynchronous transfer mode
BCC	block convolutional code
BE	best effort
BER	bit error rate
BPSK	binary phase shift keying
BR	bandwidth request
BS	base station
BSN	block sequence number
BTC	block turbo code
BW	bandwidth
BWA	broadband wireless access
BWSU	broadband wireless subscriber unit
C/I	carrier-to-interference ratio
C/N	carrier-to-noise ratio
CA	certification authority
CBC	cipher block chaining
CC	confirmation code
CCI	co-channel interference
CCS	common channel signaling
CCV	clock comparison value
CDMA	code division multiple access
CEPT	european conference of postal and telecommunications administrations
ChID	channel identifier
CID	connection identifier
CINR	carrier-to-interference-and-noise ratio
CIR	channel impulse response
CLP	cell loss priority
CP	cyclic prefix
CPS	common part sublayer
CRC	cyclic redundancy check
CS	convergence sublayer
CSCF	centralized scheduling configuration
CSCH	centralized scheduling
DAMA	demand assigned multiple access
DARS	digital audio radio satellite

ABREVIACÕES E SIGLAS

DCD	downlink channel descripto
DES	data encryption standard
DFS	dynamic frequency selection
DHCP	dynamic host configuration protocol
DIUC	downlink interval usage code
DL	downlink
DM	directed mesh
DSA	dynamic service addition
DSC	dynamic service change
DSCH	distributed scheduling
DSCP	differentiated services codepoint
DSD	dynamic service deletion
DSx	dynamic service addition, change, or deletion
EC	encryption control
ECB	electronic code book
EDE	encrypt-decrypt-encrypt
EESS	earth exploratory satellite system
EIRP	effective isotropic radiated power
EKS	encryption key sequence
EVM	error vector magnitude
FC	fragmentation control
FCH	frame control header
FDD	frequency division duplex or duplexing
FEC	forward error correction
FFT	fast fourier transform
FPC	fast power control
FSH	fragmentation subheader
FSN	fragment sequence number
FSS	fixed satellite service
FWA	fixed wireless access
GF	galois field
GPS	global positioning system
GS	guard symbol
HCS	header check sequence
HEC	header error check
H-FDD	half-duplex frequency division duplex
HMAC	hashed message authentication code
HT	header type
HUMAN	high-speed unlicensed metropolitan area network
I	inphase
IANA	internet assigned numbers authority
IE	information element
IFFT	inverse fast fourier transform
IP	internet protocol
ITU	international telecommunications union
IWF	interworking function
KEK	key encryption key
LAN	local area network
LFSR	linear feedback shift register
LLC	logical link control

ABREVIACÕES E SIGLAS

LOS	line-of-sight
LSB	least significant bit
MAC	medium access control layer
MAN	metropolitan area network
MBd	megabaud
MBd/s	megabaud per second
Mb/s	megabit per second
MDS	multipoint distribution service
MIB	management information base
MIC	message integrity check
MMDS	multichannel multipoint distribution service
MPEG	moving pictures experts group
MSB	most significant bit
MSH	mesh
NCFG	network configuration
NENT	network entry
NLOS	non-line-of-sight
NNI	network-to-network interface (or network node interface)
nrtPS	non-real-time polling service
OFDM	orthogonal frequency division multiplexing
OFDMA	orthogonal frequency division multiple access
OID	object identifier
PBR	piggyback request
PDU	protocol data unit
PHS	payload header suppression
PHSF	payload header suppression field
PHSI	payload header suppression index
PHSM	payload header suppression mask
PHSS	payload header suppression size
PHSV	payload header suppression valid
PHY	physical layer
PKM	privacy key management
PM	poll-me bit
PMD	physical medium dependent
PMP	point-to-multipoint
PPP	point-to-point protocol
PRBS	pseudo-random binary sequence
PS	physical slot
PSH	packing subheader
PTI	payload type indicator
PtP	point to point
PVC	permanent virtual circuit
Q	quadrature
QAM	quadrature amplitude modulation
QoS	quality of service
QPSK	quadrature phase-shift keying
REQ	request
RLAN	radio local access network
RNG	ranging
RS	Reed–Solomon

ABREVIACÕES E SIGLAS

RSL	received signal level
RSP	response
RSS	receive signal strength
RSSI	receive signal strength indicator
RTG	receive/transmit transition gap. This is a gap between the last sample of the uplink burst and the first sample of the subsequent downlink burst at the antenna port of the base station (BS) in a time division duplex (TDD) transceiver. This gap allows time for the base station (BS) to switch from receive to transmit mode. During this gap, the BS is not transmitting modulated data but simply allowing the BS transmitter carrier to ramp up, and the transmit/receive (Tx/Rx) antenna switch to actuate. Not applicable for frequency division duplex (FDD) systems.
rtPS	real-time polling service
Rx	receiver
RxDS	receiver delay spread clearing interval
SA	security association
SAID	security association identifier
SAP	service access point
SAR	synthetic aperture radar
SC	single carrier
SCTE	society of cable telecommunications engineers
SDU	service data unit
SF	service flow
SFID	service flow identifier
SHA	secure hash algorithm
SI	slip indicator
SLA	service level agreement
SLPID – Sleep ID	This is a number assigned by the BS whenever an MS is instructed to enter sleep mode. This number shall be unique in the sense that it is assigned to a single MS that is instructed to enter sleep mode. No other MS shall be assigned the same number while the first MS is still in sleep mode.
SNMP	simple network management protocol
SNR	signal-to-noise ratio
SS	subscriber station
SSTG	subscriber station transition gap
SSTTG	subscriber station tx/rx gap
SSRTG	subscriber station rx/tx gap
STC	space time coding
SVC	switched virtual circuit
TC	transmission convergence sublayer
TCM	trellis coded modulation
TCP	transmission control protocol
TDD	time division duplex or duplexing
TDM	time division multiplexing
TDMA	time division multiple access
TEK	traffic encryption key

ABREVIações E SIGLAS

TFTP	trivial file transfer protocol
TLV	type/length/value
TTG	transmit/receive transition gap. This is a gap between the last sample of the downlink burst and the first sample of the subsequent uplink burst at the antenna port of the base station (BS) in a time division duplex (TDD) transceiver. This gap allows time for the base station (BS) to switch from transmit to receive mode. During this gap, the BS is not transmitting modulated data but simply allowing the BS transmitter carrier to ramp down, the transmit/receive (Tx/Rx) antenna switch to actuate, and the BS receiver section to activate. Not applicable for frequency division duplex (FDD) systems.
Tx	transmitter
UCD	uplink channel descriptor
UDP	user datagram protocol
UGS	unsolicited grant service
UIUC	uplink interval usage code
UL	uplink
UNI	user-to-network interface or user-network interface
U-NII	unlicensed national information infrastructure
UTC	universal coordinated time
UW	unique word
VC	virtual channel
VCI	virtual channel identifier
VLAN	virtual local area network
VP	virtual path
VPI	virtual path identifier
WirelessMAN	Wireless Metropolitan Area Networks
WirelessHUMAN	Wireless High-speed Unlicensed Metropolitan Area Networks
WPOW	Wings Planner On the Web
XOR	exclusive-or