

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

ELAINE DA CUNHA CURY

**A TECNOLOGIA WIMAX NO BRASIL E SEUS
ASPECTOS REGULATÓRIOS**

NITERÓI
2009

ELAINE DA CUNHA CURY

A TECNOLOGIA WIMAX NO BRASIL E SEUS ASPECTOS REGULATÓRIOS

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 Telecomunicações.

Orientador: Prof. Mauro Soares de Assis.

Niterói

2009

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

C975 Cury, Elaine da Cunha.

A tecnologia WiMAX no Brasil e seus aspectos regulatórios/
Elaine da Cunha Cury. – Niterói, RJ: [s.n.], 2009.
122 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) -
Universidade Federal Fluminense, 2009.
Orientador: Mauro Soares de Assis.

1. Sistema de comunicação móvel. 2. WiMAX. 3. Telefonia
celular. 4. Engenharia de telecomunicação. I. Título.

CDD 621.38456

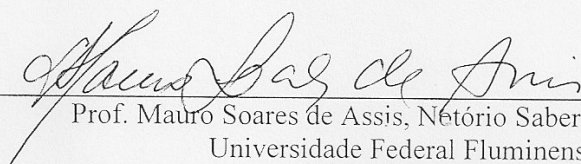
ELAINE DA CUNHA CURY

A TECNOLOGIA WIMAX NO BRASIL E SEUS ASPECTOS REGULATÓRIOS

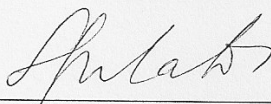
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Telecomunicações.

Aprovada em 14 de dezembro de 2009

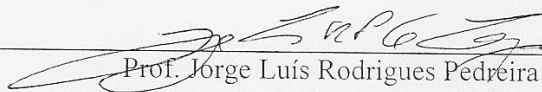
BANCA EXAMINADORA



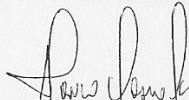
Prof. Mauro Soares de Assis, Nétório Saber – Orientador
Universidade Federal Fluminense



Prof.ª Leni Joaquim de Matos, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense



Prof. Jorge Luís Rodrigues Pedreira de Cerqueira, D.Sc.
Instituto Militar de Engenharia



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

Niterói

2009

À minha família, em especial a minha filha
Yelenah, pelo apoio e compreensão nas horas de
estudo e escrita.

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador, Mauro Soares de Assis, pela confiança e cooperação sem a qual, tal trabalho não teria alcançado seu objetivo.

À professora, Dra. Leni Joaquim de Matos, pelo especial apoio prestado durante o desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu marido, Eng. Frederico Fernandes Neves, pelo apoio, compreensão, sugestões e revisão desse trabalho.

Aos meus pais, pelo estímulo e apoio.

Aos professores e funcionários da Universidade Federal Fluminense pelo apoio e cooperação prestados.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA CELULAR.....	19
1.2 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS EM BANDA LARGA	27
1.3 OBJETIVO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	29
2 WIMAX.....	30
2.1 A FAMÍLIA DO PADRÃO 802.16.....	31
2.2 PERFS DOS SISTEMAS WIMAX	34
2.3 CAMADAS FÍSICA E MAC	35
2.4 TOPOLOGIA DE REDE.....	38
2.5 ARQUITETURA.....	39
2.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS PADRÕES 802.16-2004 E 802.16E.....	44
2.7 FAIXAS DE OPERAÇÃO.....	46
2.8 PONTOS RELEVANTES NA ESCOLHA DO PADRÃO	47
2.9 MERCADO E APLICAÇÕES	49
2.10 PADRAO 802.16M.....	51
3 CENÁRIOS INTERNO E EXTERNO.....	53
3.1 CENÁRIO EXTERNO.....	54
3.1.1 <i>Tecnologia WiMAX no mundo.....</i>	<i>54</i>
3.1.2 <i>Distribuição das estações terrenas para serviços por satélite</i>	<i>61</i>
3.1.3 <i>3G/HSPA</i>	<i>63</i>
3.2 CENÁRIO INTERNO.....	63
3.2.1 <i>WiMAX</i>	<i>63</i>
3.2.2 <i>Distribuição das estações terrenas para serviços por satélite</i>	<i>68</i>
3.2.3 <i>3G</i>	<i>69</i>
4 FAIXAS DE RADIOFREQUÊNCIAS PARA WIMAX	71
4.1 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES.....	72
4.1.1 <i>Serviço de Comunicação Multimídia.....</i>	<i>73</i>
4.1.2 <i>Serviço Móvel Pessoal.....</i>	<i>74</i>
4.1.3 <i>Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal.....</i>	<i>76</i>
4.2 ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS NO BRASIL.....	76
4.2.1 <i>Faixa abaixo de 1 GHz.....</i>	<i>77</i>
4.2.2 <i>Faixa de 2,3 GHz a 2,5 GHz</i>	<i>79</i>
4.2.3 <i>Faixa de 3,3GHz a 3,6 GHz</i>	<i>80</i>
4.2.3.1 <i>Problemas em 3,5 GHz.....</i>	<i>84</i>
4.2.4 <i>Faixa de 5,8 GHz.....</i>	<i>87</i>
4.2.5 <i>Faixa de 10,5 GHz.....</i>	<i>88</i>
5 ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA NA FAIXA DE 3,5 GHZ.....	89
5.1 CLASSIFICAÇÕES DE CASOS	89
5.2 TRATAMENTO POR ÁREA DE COORDENAÇÃO, LIMITE DE ESPÚRIOS E EXEMPLO DO CASO DE INTERFERÊNCIA ENTRE VSAT E FWA	91
5.2.1 <i>Apêndice 7 do Regulamento de Radiocomunicações da UIT.....</i>	<i>91</i>
5.2.2 <i>- Apêndice 3 da Regulamento de Radiocomunicações da UIT.....</i>	<i>92</i>
5.2.3 <i>Recomendação UIT-R SF.1486 - Compartilhamento na faixa de 3,4 GHz a 3,7 GHz por VSATs e acesso fixo sem fio.....</i>	<i>93</i>
5.3 TÉCNICAS DE MITIGAÇÃO	94
5.3.1 <i>Inclinação do feixe</i>	<i>94</i>
5.3.2 <i>Restrição de cobertura</i>	<i>95</i>
5.3.3 <i>Antenas adaptativas.....</i>	<i>95</i>

5.3.4 Cobertura física.....	95
5.3.5 Filtros.....	96
5.3.6 Segmentação da faixa.....	96
5.4 ESTUDOS DE CASOS.....	97
5.4.1 Aplicação do Apêndice 7 do RR.....	97
5.4.2 Destinação da faixa de 3,65 GHz a 3,7 GHz para BWA nos EUA.....	98
5.4.3 Destinação da faixa de 3,4 GHz a 3,8 GHz na Europa.....	99
6 ASPECTOS REGULATÓRIOS	100
6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	100
6.2 MOBILIDADE RESTRITA, APLICAÇÕES NOMÁDICAS E REGULAMENTO DO SERVIÇO DE COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA	101
6.3 PROBLEMAS TÉCNICOS.....	103
6.4 WiMAX MÓVEL.....	105
7 CONCLUSÕES	106
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
ANEXO: TIPOS DE ACESSO SEGUNDO O FÓRUM WIMAX	116
GLOSSÁRIO	117

LISTA DE FIGURAS

FIG. 2.1 – FIGURA DAS CAMADAS OSI E SUBCAMADAS DE DADOS	36
FIG. 2.2 – COMUNICAÇÃO ENTRE CAMADAS.....	36
FIG. 2.3 – SUBDIVISÃO DA CAMADA MAC E SEUS PONTOS SAP	37
FIG. 2.4 – EXEMPLO DE ARQUITETURA DE REDE APRESENTADA PELO PADRÃO 802.16	39
FIG. 2.5 – ARQUITETURA DE REDE WiMAX.....	41
FIG. 2.6 - PONTOS DE REFERÊNCIA DEFINIDOS PELA INTERFACE ENTRE ELEMENTOS DE REDE	44
FIG. 2.7 - EXEMPLOS DE APLICAÇÕES PONTO-MULTIPONTO	50
FIG. 3.1 - PRINCIPAIS OPERADORAS BWA DA AMÉRICAS CENTRAL E LATINA	54
FIG. 3.2 - PRINCIPAIS OPERADORAS BWA DA AMÉRICA DO NORTE	56
FIG. 3.3 - PRINCIPAIS OPERADORAS BWA DA EUROPA.....	57
FIG. 3.4 - PRINCIPAIS OPERADORAS BWA DO ORIENTE MÉDIO E ÁFRICA.....	59
FIG. 3.5 - PRINCIPAIS OPERADORAS BWA DA REGIÃO ÁSIA-PACÍFICO	60
FIG. 3.6 - ESTAÇÕES TERRENAS NA REGIÃO 1, 2006	62
FIG. 3.7 - ESTAÇÕES TERRENAS DISTRIBUÍDAS PELO BRASIL, 2006.....	68
FIG. 4.1 - ESQUEMA DE POSICIONAMENTO DAS ESTAÇÕES INTERFERIDAS E RECEPTORA WiMAX.....	84
FIG. 4.2 – ESTAÇÃO RECEPTORA WiMAX	85
FIG. 4.3 – ESTAÇÃO TERRENA BRASILSAT OPERANDO NA FREQUÊNCIA 3556 MHz PELO SATÉLITE B1	86
FIG. 4.4 – ESTAÇÃO TERRENA EMBRASAT OPERANDO FREQUÊNCIA DE RECEPÇÃO 4038 MHz PELO SATÉLITE NSS7.....	87
FIG. 5.1 - EMISSÕES DE ESPÚRIOS DEFINIDAS CONFORME APÊNDICE 3 DO RR.....	92
FIG. 5.2 – REDUÇÃO DE INTERFERÊNCIA PELO USO DE DOWNTILT.....	95
FIG. 5.3 - ESTAÇÃO TERRENA COM TELA DE PROTEÇÃO, CARACAS	96
FIG. 5.4 - ÁREA DE COORDENAÇÃO EM TORNO DA ESTAÇÃO DE TERRA DE BURUM NOS PAÍSES BAIXOS	97

LISTA DE TABELAS

TAB. 1.1– PRINCIPAIS EVENTOS QUE MARCARAM A EVOLUÇÃO DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS	19
TAB. 1.2– PADRÕES DE SISTEMAS CELULARES 1G	21
TAB. 1.3– ALGUNS PARÂMETROS DOS PADRÕES GSM, IS-136, IS-95 E PDC.	22
TAB. 2.1– FAMÍLIA DE PADRÕES IEEE 802.16	33
TAB. 2.2– PERFIS DE CERTIFICAÇÃO PARA WiMAX FIXO USANDO CAMADA FÍSICA OFDM E MODO PMP.....	34
TAB. 2.3– PERFIS DE CERTIFICAÇÃO PARA WiMAX MÓVEL USANDO CAMADA FÍSICA OFDMA E MODO PMP	35
TAB. 2.4– RELAÇÃO DOS PONTOS DE REFERÊNCIA DEFINIDOS PELA INTERFACE ENTRE ELEMENTOS DE REDE	43
TAB. 2.5– POSSÍVEIS FAIXAS PARA OPERAÇÃO DE SERVIÇOS WiMAX	47
TAB. 2.6– TIPOS DE ACESSO PARA REDE WiMAX.....	49
TAB. 4.1– FAIXAS DE RADIOFREQUÊNCIAS DO SMP	75
TAB. 4.2– RESULTADO DA LICITAÇÃO DE 2003 PARA AS FAIXAS DE 3,5 GHz E 10,5 GHz	81
TAB. 7.1– PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS PADRÕES IEEE 802.16-2004 E 802.16E	106
TAB. 7.2– POSSÍVEIS FAIXAS E PADRÕES IEEE 802.16 A SEREM ADOTADOS	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABREVIATURA	INGLÊS	PORTUGUÊS
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>	
3GPP2	<i>Third Generation Partnership Project Two</i>	
AAA	<i>Authentication, Authorization, Accounting</i>	Autenticação, Autorização e Relatório
AAS	<i>Adaptive Antenna Systems</i>	Sistemas de antenas adaptativas
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>	Linha digital para Assinantes Assimétrica
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>	Sistemas de telefones móveis Avançados
Anatel	<i>Brazilian Telecommunication Agency</i>	Agência Nacional de Telecomunicações
ARIB	<i>Association of Radio Industries and Business</i>	Associação de Indústrias e Empresas de Rádio
ASN	<i>Access Service Network</i>	Serviço de Acesso de rede
ASNGW	<i>Access Service Network Gateway</i>	Gateway da rede de serviços de acesso
ASP	<i>Application Service Provider</i>	Provedor de serviços aplicados
BS	<i>Base Station</i>	Estação Rádio Base
BSS	<i>Broadband Satellite Service</i>	Serviço de satélite para banda larga
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>	Acesso sem fio de banda larga
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>	Múltiplo Acesso por Divisão de Código
CEPT	<i>European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i>	Órgão europeu que administra a parte de telecomunicações e de postais
CITEL	<i>Inter-American Commission Telecommunication</i>	Comissão Interamericana de Telecomunicações
CPE	<i>Customer Provided Equipment</i>	Equipamento para assinante
CPS	<i>Common Part Sublayer</i>	Subcamada de Parte Comunitária
CS	<i>Convergence Sub Layer</i>	Subcamada de Convergência
CSN	<i>Connective Service Network</i>	Serviços de conectividade de rede
DHCP	<i>Dynamic Host Control Protocol</i>	Protocolo de controle de hospedeiro dinâmico
DOCSIS	<i>Data Over Cable Service Interface Specification</i>	Especificação de interface para serviço de dados sobre cabo
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>	Linha digital para Assinantes
DTH	<i>Direct to home</i>	Recepção residencial

ABREVIATURA	INGLÊS	PORTUGUÊS
EDGE	<i>Enhanced data for global enhancement</i>	Aumento da taxa de dados para acréscimo global
EGSM	<i>Extended Global System for Mobile Communications</i>	Sistema Global Estendido para Comunicações Móveis
ERB	<i>Base Station</i>	Estação Rádio Base
ETACS	<i>Extended Total Access Communication System</i>	Sistemas de Comunicações de Total Acesso Estendido
ETSI	<i>European Telecommunication Standard Institute</i>	Instituto de Padronização de Telecomunicações Europeu
EVDO	<i>Evolution Data Only</i>	Evolução somente para dados
FBWA	<i>Fixed Broadband Wireless Access</i>	Acesso fixo sem fio em banda larga
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>	Órgão regulador americano da área de telecomunicações e radiodifusão
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>	Duplexação com Divisão em Frequência
FDDMA	<i>Frequency Division Time Division Multiple Access</i>	Múltiplo Acesso por Divisão no Tempo Divisão em Frequência
FFT	<i>Fast Fourier transform</i>	Transformada Rápida de Fourier
FM	<i>Frequency Modulation</i>	Modulação em Frequência
FOMA	<i>Freedom of Mobile Multimedia Access</i>	Livre Acesso Móvel Multimídia
FSS	<i>Fixed Satellite Service</i>	Serviço Fixo por Satélites
FTTH	<i>Fiber-to-the-home</i>	Cabeamento de fibra óptica até a residência
FWA	<i>Fixed Wireless Access</i>	Acesso fixo sem fio
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>	Serviço via Rádio de Pacote
GPS	<i>Global Positioning System</i>	Sistema de Posicionamento Global
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>	Sistema Global para Comunicações Móveis
HDTV	<i>High Definition TV</i>	TV com alta definição
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>	Acesso por pacotes com alta velocidade de transmissão no enlace de descida
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>	Acesso por pacotes com alta velocidade
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>	Acesso por pacotes com alta velocidade de transmissão no enlace de subida
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>	
IMS	<i>IP Multimedia System</i>	Sistemas Multimídia sobre IP
IMT	<i>International Mobile Telecommunication System</i>	Sistema Móvel Internacional de Telecomunicações
IP	<i>Internet Protocol</i>	Protocolo Internet
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>	TV sobre IP
IS	<i>Interim Standard</i>	Padrão Interino

ABREVIATURA	INGLÊS	PORTUGUÊS
JTACS	<i>Japan Total Access Communication System</i>	Sistema TAC japonês
LAN	<i>Local Area Network</i>	Rede Local
LGT		Lei Geral de Telecomunicações
LMDS	<i>Local Multipoint Distribution Systems</i>	Sistema de Distribuição Multiponto Local
LOS	<i>Line of Sight</i>	Linha de Visada
LTE	<i>Long Term Evolution</i>	Evolução de Longo Prazo
MAC	<i>Media Access Control Layer</i>	Camada de Controle de Acesso ao Meio
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>	Rede Metropolitana
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>	Múltiplas entradas - múltiplas saídas
MMD	<i>Multimedia Domain</i>	Domínio Multimídia
MMDS	<i>Multichannel Multipoint Distribution System</i>	Sistema de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal
MS	<i>Mobile Station</i>	Estação móvel
MSS	<i>Mobile Satellite Service</i>	Serviço Móvel por Satélites
MWS	<i>Multimedia Wireless Systems</i>	Sistemas sem fio multimídia
NAP	<i>Network Access Provider</i>	Provedor de acesso de redes
NLOS	<i>Non Line of Sight</i>	Sem Linha de Visada
NMT	<i>Nordic Mobile Telephony</i>	Telefonia móvel nórdica
NSP	<i>Network Services Provider</i>	Provedor de serviços de rede
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>	Múltiplo Acesso por Divisão de Frequências Ortogonais
OFTA	<i>Office Telecommunications Authority</i>	Agência reguladora chinesa de Telecomunicações
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>	Interconexão de sistemas abertos
PCMCIA	<i>Personal Computer Memory Card International Association</i>	Associação Internacional de empresas para a interface de expansão de Cartões para Computadores Pessoais
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>	Assistente Pessoal Digital
PDC	<i>Personal Digital Cellular</i>	Celular Digital Pessoal
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>	Protocolo de Unidade de dados
PGO		Plano Geral de Outorga
PGQ		Plano Geral de Qualidade
PGR		Plano Geral de Regulamentação
PHY	<i>Physical Layer</i>	Camada Física
PSA	<i>Provider Service Application</i>	Provedor de serviços aplicados
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>	Modulação digital com chaveamento em fase
QoS	<i>Quality of Service</i>	Qualidade de Serviço

ABREVIATURA	INGLÊS	PORTUGUÊS
RF	<i>Radio Frequency</i>	Frequência de Rádio ou Radiofrequência
RFI	<i>Request for Information</i>	Requisição de Informação
RFP	<i>Request for Proposal</i>	Requisição de Proposta
RpTV		Repetidora de sinais para Televisão
RS	<i>Repeater Station</i>	Estação repetidora
RTPC	<i>Public Switched Telephone Network</i>	Rede Telefônica Pública Comutada
RTT	<i>Radio Transmission Technology</i>	Tecnologia de transmissão via rádio
RX	<i>Receiver</i>	Receptor
SAE	<i>System Architecture Evolution</i>	Evolução de Arquitetura de sistemas
SAP	<i>Sublayer Access Point</i>	Ponto de acesso entre subcamadas
SARC		Serviço Auxiliar de Radiodifusão e Correlatos
SCM		Serviço de Comunicação Multimídia
SLP		Serviço Limitado Privado
SME	<i>Small to Medium Enterprise</i>	Mercado de pequeno a médio porte
SMP		Serviço Móvel Pessoal
SMS	<i>Short Messaging Services</i>	Serviços de mensagens curtas
SOFDMA	<i>Scalable OFDMA</i>	
SOHO	<i>Small office/home office</i>	Escritórios de pequeno porte ou residenciais
SS	<i>Subscriber Station</i>	Estação de Assinantes
STFC		Serviço Telefônico Fixo Comutado
SVA		Serviços de Valor Adicionado
TACS	<i>Total Access Communication System</i>	Sistemas de Comunicações de Acesso Total
TCU		Tribunal de Contas da União
TDD	<i>Time Division Duplex</i>	Duplexação por Divisão no Tempo
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>	Múltiplo Acesso por Divisão no Tempo
TE	<i>Terminal Equipment</i>	Equipamento Industrial
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>	Associação de Indústrias de Telecomunicações
TSB	<i>Technical Services Bulletin</i>	
TVRO	<i>Television Reception Only</i>	Somente recepção de TV via satélite
TX	<i>Transmitter</i>	Transmissor
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>	Frequência Ultra Alta
UIT / ITU	<i>International Telecommunication Union</i>	União Internacional de Telecomunicações
UMB	<i>Ultra Mobile Broadband</i>	Faixa ultra larga móvel

ABREVIATURA	INGLÊS	PORTUGUÊS
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>	Sistemas de Telecomunicações Móveis Universal
VHF	<i>Very High Frequency</i>	Frequência Muito Alta
VoD	<i>Video on Demand</i>	Vídeo sobre Demanda
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>	Voz sobre IP
VPN	<i>Virtual Private Network</i>	Rede privada virtual
VSAT	<i>Very Small Aperture Terminal</i>	Equipamento terminal com antena de pequena abertura
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>	Múltiplo Acesso por Divisão de Código em faixa larga
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>	Interoperabilidade Mundial para Acesso de Microondas
WISP	<i>Wireless Internet Service Provider</i>	Provedor de internet sem fio
WLAN	<i>Wireless Local Area Networking</i>	Rede sem fio Local
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>	Rede sem fio Metropolitana
WRC	<i>World Radiocommunication Conferences</i>	Conferência Mundial de Radiocomunicação

RESUMO

Esta dissertação apresenta uma análise do desenvolvimento da transmissão de dados em banda larga no Brasil através da tecnologia WiMAX. São descritas as principais características dessa tecnologia, os cenários atuais no Brasil e no exterior, o espectro de frequências disponível e os problemas de interferência resultantes do compartilhamento com outros serviços. Ênfase particular é dada à questão regulatória, onde são destacados pontos da atuação da Agência Nacional de Telecomunicações na regulamentação do tema em tela e a possível contribuição para o desenvolvimento do mercado nacional de telecomunicações.

Palavras-chave: Sistemas de comunicação móvel. Acesso sem fio em banda larga. WiMAX.

ABSTRACT

The development of broadband data transmission in Brazil using the WiMAX technology is presented in this dissertation. The main characteristics of the technology, the current state-of-art in Brazil and abroad, interference problems associated with sharing among services and the available frequency spectrum are described. Particular emphasis is given to regulatory issues, where documents of the Brazilian Telecommunication Agency (ANATEL) about the subject are analyzed and commented. A possible contribution to the national market of telecommunications is also pointed out.

Keywords: Mobile communication system. Broadband Wireless Access. WiMAX.

1 INTRODUÇÃO

A comunicação através de ondas de rádio foi, inicialmente, desenvolvida por Maxwell, que sintetizou em quatro equações as leis fundamentais do eletromagnetismo e demonstrou a identidade entre luz e onda eletromagnética, trabalho que culminou com a publicação em 1873 de um tratado sobre eletromagnetismo intitulado “*A Treatise on Electricity and Magnetism*”. Posteriormente, em 1888, Hertz comprovou experimentalmente a teoria estabelecida por Maxwell. Entre o final do século XIX e o início do século XX, Marconi realizou uma série de experiências mostrando a viabilidade de utilização das ondas eletromagnéticas em comunicações à longa distância.

Em 1876, Graham Bell inventou o telefone e patenteou seu invento na *US Patent Office*¹. Na exposição do Centenário da Independência dos Estados Unidos, na Filadélfia, ocorrida em 25 de junho de 1876, Graham Bell demonstrou em público, pela primeira vez, que seu invento falava.

O funcionamento da rede de telefonia fixa, conhecida também como RTPC (Rede Telefônica Pública Comutada), pode ser compreendida em três partes, sendo cada uma envolta em cem anos de história: acesso, comutação e transporte. Acesso é como os usuários acessam a rede. Comutação refere-se como a chamada é transferida ou roteada pela rede. Transporte descreve como a chamada viaja sobre a rede. Originalmente, a rede RTPC foi designada somente para suportar voz. Posteriormente, a comunicação por dados foi introduzida. Com o crescente número de usuários e tráfego de dados, a RTPC tornou-se saturada para atender a grande demanda. Também encontrou limitações de infraestrutura, pela utilização de cabos ópticos ou par trançado.

(1) Graham Bell patenteou seu invento algumas horas antes de outro inventor, Elias Gray, patentear o seu. Os historiadores costumam dizer que Gray perdeu a chance de obter o título de inventor do telefone porque lhe faltou a sorte e o fato de não poder contar com um modelista talentoso como Thomas Watson que trabalhou junto com Bell no desenvolvimento do protótipo do primeiro telefone.

No contexto desta introdução, a próxima seção apresenta a evolução dos sistemas celulares. Nesta linha, a seção seguinte discorre sobre a evolução dos sistemas em banda larga, que se tornou necessidade de mercado devido à crescente demanda do aumento de ofertas de taxas de transmissão. Finalizando, define-se, o objetivo dessa dissertação, juntamente com a descrição da estrutura adotada para elaboração do texto.

1.1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA CELULAR

Com relação às comunicações móveis, considera-se como o primeiro serviço móvel aplicado, o sistema implantado em 1921, no Departamento de Polícia de Detroit (EUA). Tratava-se de um sistema unidirecional, que utilizou modulação em amplitude na faixa de ondas médias, permitindo o envio de mensagens para as viaturas do Departamento e cujo retorno obrigava o uso da rede de telefonia fixa, ou seja, um precursor do serviço de busca (*paging*).

No século XX, uma evolução crescente das comunicações móveis, lenta nas primeiras décadas, foi marcada por uma série de eventos, alguns dos quais são citados na Tabela 1.1, em ordem cronológica, no período que antecedeu à implantação da telefonia móvel celular:

Período	Evento
1928	Ocorreu o desenvolvimento do receptor superheterodino.
1935	Invenção da modulação em frequência.
1946	Primeiro serviço móvel manual de telefonia pública nos Estados Unidos (150 MHz), consequência direta do desenvolvimento tecnológico realizado durante a 2ª Guerra Mundial.
1947	Serviço móvel para auto-estrada (35 MHz).
1956	Serviço móvel manual em 450 MHz.
1964	Serviço automático em 150 MHz denominado IMTS (<i>Improved Mobile Telephone System</i>).
1969	Serviço automático (IMTS) em 450 MHz.
1975	Atribuição pela FCC (<i>Federal Communication Commission</i>), nos Estados Unidos, da faixa de 800 MHz para telefonia móvel celular.

Tab. 1.1– Principais eventos que marcaram a evolução das comunicações móveis

A estrutura celular foi concebida nos Laboratórios Bell (*Bell Labs* - USA) em 1947. Entretanto, somente após a decisão da FCC de destinar uma faixa de frequências

em 800 MHz para a telefonia celular, foi possível iniciar testes de campo visando à implantação do novo serviço. Neste contexto, foi instalado em 1978, na cidade de Chicago (EUA), um sistema experimental com base no padrão analógico AMPS, desenvolvido nos Laboratórios Bell. Por problemas de regulamentação, este sistema começou a operar, comercialmente, cinco anos mais tarde. Neste período a telefonia celular foi introduzida em diversos outros países com padrões, também analógicos, que tiveram o AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) por referência.

Os sistemas celulares de primeira geração faziam uso de transmissão analógica com modulação em frequência (FM – *Frequency Modulation*) de faixa estreita. A técnica de acesso utilizada em tais sistemas era a FDMA/FDD. O AMPS é o sistema celular de primeira geração mais difundido, que foi predominante nas Américas e chegou a dominar 70% do mercado mundial. A disponibilidade inicial de espectro para este sistema foi de 20 MHz, em cada sentido de transmissão, correspondendo a um total de 666 canais de voz, cada qual com 30 kHz de faixa. Posteriormente, esta faixa foi estendida com um acréscimo de 5 MHz, passando a ocupar, assimetricamente, as faixas de 824 a 849 MHz em *uplink* e de 869 a 894 MHz em *downlink*. Uma característica do sistema AMPS é a reserva de 21 canais para controle e sinalização. Desta forma, o sistema disponibilizava uma total de 395 canais para transmissão de voz em cada sub-faixa.

Em 1979, foi instalado em Tóquio, Japão, o primeiro sistema celular, sistema JTACS que é a versão japonesa do sistema TACS (*Total Access Communication System*). Em 1980, os países nórdicos - Dinamarca, Suécia, Noruega e Finlândia – foram integrados pelo início da operação de um sistema celular nas faixas de 450 e 900 MHz, conhecido como NMT (*Nordic Mobile Telephony*). No Reino Unido, em 1982, ocorreu a implementação do sistema TACS, praticamente idêntico ao AMPS, exceto no que diz respeito à largura de faixa do canal de voz, que era de 25 kHz. Este sistema também teve uma extensão da faixa original, que lhe foi destinada, passando a ser designado por ETACS, a letra E correspondendo à palavra *Extended*. As implementações de sistemas celulares de primeira geração são apresentadas na Tabela 1.2.

Padrão	Ano de introdução	Técnica de Acesso	Faixa de Frequências (MHz)	Modulação	Largura de Faixa do Canal (kHz)
NTT	1979	FDMA	280	FM	12,5
AMPS	1983	FDMA	824 a 894	FM	30
NMT-450	1981	FDMA	450 a 470	FM	25
ETACS	1985	FDMA	900	FM	25
C-450	1985	FDMA	450 a 465	FM	20/10
NMT-900	1986	FDMA	890 a 960	FM	12,5
JTACS	1988	FDMA	860 a 925	FM	25
NAMPS	1992	FDMA	824 a 894	FM	10
NTACS	1993	FDMA	843 a 925	FM	12,5

Tab. 1.2– Padrões de sistemas celulares 1G

A segunda geração de sistemas celulares (2G) foi introduzida na década de 90, após a conclusão de estudos, iniciados na década de 80 e desenvolvidos nos Estados Unidos, Europa e Japão. Tais estudos tiveram por objetivo de propor sistemas que operassem com tecnologia digital e que atendessem critérios de melhor qualidade, maior capacidade e robustez quanto a interferências. Esses estudos resultaram nos padrões IS-136, que é o padrão digital americano com técnica de acesso TDMA (*Time Division Multiple Access*), IS-95 apresentado como padrão digital americano com técnica de acesso CDMA (*Code Division Multiple Access*), GSM (*Global System for Mobile Communications*) que é o difundido padrão digital europeu e o PDC (*Personal Digital Cellular*), padrão digital japonês, os dois últimos também com técnica de acesso TDMA. Parâmetros representativos desses sistemas são apresentados na Tabela 1.3.

Parâmetro	Sistema	Europa GSM	Estados Unidos IS – 136 IS – 95		Japão PDC
Faixa (MHz) ERB => EM EM => ERB		GSM 900: 935 – 960 890 – 915	Celular: 869 – 894 824 – 849		940 – 956 810 – 826
		GSM 1800: 1805 – 1880 1710 – 1785			
		GSM 1900: 1930 – 1990 1850 – 1910	PCS: 1930 – 1990 1850 – 1910		1429 – 1453 1477 – 1501
Acesso múltiplo		TDMA	TDMA	CDMA	TDMA
Duplexação		FDD			
Canal de RF (kHz)		200	30	1250	30
Canais de tráfego por portadora		8	3	20	3
Taxa de transmissão (kb/s)		270,8	48,6	1228,0	42
Conjunto mínimo de células para padrão de reuso		4 (típico) 3 (alto tráfego)	7 (típico) 4 (alto tráfego)	1	7 (típico) 4 (alto tráfego)

Tab. 1.3– Alguns parâmetros dos padrões GSM, IS-136, IS-95 e PDC.

As tecnologias de múltiplo acesso usadas nos sistemas 2G são TDMA e CDMA. Esses sistemas são digitais e usam redes com comutação de circuitos. Em sistemas TDMA, muitas chamadas compartilham o mesmo canal de frequência, sendo fatiado em série de janelas (*slots*) onde cada janela é transmitida em intervalos regulares. A vantagem desse sistema é o aumento da eficiência de transmissão. A tecnologia TDMA reduz a interferência entre transmissões simultâneas e possibilita o aumento da vida útil de baterias por implementar o controle de potência.

Na Europa, a tecnologia TDMA constituiu a base do GSM (*Global System for Mobile Communications*). O GSM foi criado em 1980, na França, utilizando a faixa de 890 a 915 MHz para enlace de subida e de 935 a 960 MHz, para enlace de descida. Trata-se de um sistema 2G baseado em FD-TDMA (*Frequency Division - Time Division Multiple Access*) que oferece taxas de até 9,6 kbps por canal, porém não é capaz de atender demandas como as que existem nas redes de dados atuais. A revisão das especificações do GSM define sua extensão, o EGSM, que estende a faixa de operação original do GSM-900 para faixa de 1,8 GHz e estipula terminais de baixa potência e pequenas áreas de operação.

A técnica CDMA emprega a técnica de espalhamento do espectro para codificar a informação a ser transmitida ou recebida pelos usuários. Esta técnica permite

transmitir, simultaneamente, diversos canais numa mesma portadora. A separação da informação é feita pela correlação entre a sequência recebida e sequência gerada no próprio receptor. Caso estas sequências sejam diferentes, o sinal permanece espalhado. Quando as sequências coincidem, tem-se a recuperação da informação transmitida. O padrão que define esta tecnologia, originalmente projetada para transmissão de voz a 9,6 kbps, foi denominado IS-95, publicado em 1992, e melhorado com a Revisão A de 1995, IS-95-A. É referido como padrão interino (IS - *Interim Standard*) da Associação de Indústria de Telecomunicações (TIA - *Telecommunications Industry Association*). O termo CDMA-One também é usado para referenciar o mesmo padrão. Na tecnologia IS-95, as portadoras têm largura de faixa de 1,25 MHz. Teoricamente, até um máximo de 64 canais poderiam ser alocados em uma mesma portadora, os quais seriam diferenciados pelo código de Walsh, utilizado no processamento do sinal. Entretanto, como o padrão IS-95 opera com limitação do ruído, o número usual de canais de tráfego é da ordem de 20 (vinte), aos quais são adicionados o canal piloto, 7 (sete) canais de busca e os canais de acesso, cujo número é definido pela operadora.

Algumas extensões foram publicadas, como o TSB 74 (*Technical Services Bulletin 74*), que permitiu ao assinante uma considerável melhoria da qualidade de voz, ao introduzir codificação de voz mais precisa a 14,4 kbps; o IS-637-A, que introduziu o SMS; o IS-99, que tratou a transmissão de dados em pacotes e a primeira versão do IS-707, que introduziu dados em pacotes. Tudo isto, com taxa máxima de 14,4 kbps e uma largura de faixa da portadora CDMA de 1,23 MHz. Para superar as limitações do 14,4 kbps surgiu o IS-95-B, implementado apenas em um número reduzido de países como Coreia, Equador, e Israel, permitindo chegar a 115,2 kbps, com o custo de que cada usuário de dados tomaria, aproximadamente, 8 (oito) canais de voz do IS-95-A.

Para a terceira geração, foi desenvolvido o padrão IS-2000. Esse padrão, para baratear os custos de implantação para as operadoras, foi desenvolvido em duas fases. A primeira com uma portadora, permitindo uma velocidade teórica máxima de dados de 614,4 kbps. Esta fase foi denominada 1xRTT (*Radio Transmission Technology*), uma vez que seria implementada com uma portadora. A segunda fase, onde a velocidade de dados seria, aproximadamente, 3,5 vezes a primeira, deveria utilizar 3 (três) portadoras (CDMA 2000 3xRTT). Entretanto, o padrão 3xRTT foi substituído pelo padrão CDMA HDR (*High Data Rate*), proprietário da empresa responsável pelo desenvolvimento (Qualcomm Inc.), que permite transmitir apenas dados com uma portadora na faixa de

1,25 MHz. O aprimoramento do HDR, através de técnicas de modulação e codificação, possibilitou atingir taxas da ordem de 2,4 Mbps, em ambiente fixo. O novo sistema resultante foi padronizado como IS-856, sendo comumente conhecido por CDMA 1xEVDO, onde EV significa *Evolution* e o DO *Data Only*.

A mudança de comutação de circuito para comutação de pacotes foi resultado de um grande investimento para implementar sistemas baseados em protocolos de transmissão digital. Um passo intermediário no desenvolvimento completo da comutação de pacotes para sistemas de terceira geração (3G) são os sistemas sem fio 2,5G que possibilitam o aumento da taxa de transmissão até cerca de 100 kbps. Este valor é significativamente maior que as taxas disponíveis nos sistemas de 2G, porém é inferior às esperadas para sistemas 3G. A geração de 2,5G é representada por sistemas que usam interfaces rádio, comutação de circuitos para voz e comutação de pacotes para dados, designados para operar no espectro de rede 2G. Nesse contexto, surgiram os sistemas GPRS e, posteriormente, o EDGE.

O GPRS (*General Packet Radio Service*) permitiu a implementação do protocolo IP em comutação de pacotes sobre redes GSM. Possibilitou também a transmissão de dados por um esquema de codificação com quatro categorias. A mudança de um esquema para outro sendo feita automaticamente, através da monitoração contínua da qualidade do canal (*link adaptation*).

O EDGE (*Enhanced Data rate for Global Enhancement*) é outra tecnologia comutada a pacotes, uma melhoria do GPRS baseado em TDMA. Aprimora o GPRS, aumentando a taxa de transmissão de dados até um limite máximo teórico de 473,6 kbps. Como é mantida a largura de faixa por canal igual a 200 kHz, para taxas mais elevadas foi introduzido o esquema de modulação 8PSK. Da mesma forma que o GPRS, cada esquema de codificação é utilizado para determinada condição de qualidade do canal. Embora não haja informação disponível das operadoras, relativamente à taxa de transmissão utilizada, com base em dados de fabricantes, verificou-se que a taxa máxima que vem sendo praticada é de 118,4 kbps.

Os sistemas 3G são sistemas digitais para transmissão de voz, baseados em tecnologia de rede comutada a pacotes, dados, áudio e vídeo (aplicações multimídia) e acesso a *internet*, convergência IP, com taxa de transmissão de dados máxima de 144 kbps, em ambiente móvel veicular, 384 kbps em ambiente móvel pedestre e de 2 Mbps, para usuários celulares fixos, segundo padrão UIT.

Para atender a demanda das redes móveis 3G, a UIT definiu o padrão IMT-2000, baseado na Recomendação ITU-R M.1457. Neste ponto, vale introduzir os grupos responsáveis pela evolução dos padrões GSM e CDMA para terceira geração, os quais são designados, respectivamente, 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) e 3GPP2 (*3rd Generation Partnership Project 2*). Cumpre, ainda, destacar que o sistema IS-136 (padrão digital americano TDMA) não teve sucesso na evolução para a 3ª Geração, que levaria ao padrão UWC136 (*Universal Wireless Communications 136*), proposto pela TTA.

A evolução do GSM foi feita através do WCDMA, que constitui o acesso rádio do UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) sendo, também, designado UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*). O sistema WCDMA foi aprimorado pelo 3GPP passando a ter as designações de HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) no enlace de descida e HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) no de subida, atingindo taxas da ordem de 7,2 Mbps em um canal de 5 MHz. A combinação destes padrões levou ao HSPA (*High Speed Packet Access*). A evolução do CDMA, conforme comentado anteriormente, levou ao CDMA 1xEV-DO, cujas melhorias estão sendo desenvolvidas através do 3GPP2.

No que diz respeito aos sistemas de 4ª Geração, existe uma gama diversificada de objetivos tais como:

- a) Promover o atendimento aos requisitos de disponibilidade de serviços multimídia;
- b) Baixo custo por *bit* transmitido;
- c) Taxas de transmissão de dados de 50 Mbps, com mobilidade elevada e 1 Gbps, para baixa mobilidade;
- d) Integração entre tecnologias de acesso rádio BWA (*Broadband Wireless Access*);
- e) Promover interoperabilidade e convergência das tecnologias concorrentes;
- f) Integração com rede de serviços baseadas em IP;
- g) Tendência a incorporar as tecnologias OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) e *beamforming* e a arquitetura *ad-hoc**.

Três tecnologias foram, inicialmente, exploradas pela indústria, capazes de dar suporte à 4G: WiMAX, LTE (*Long Term Evolution*) e UMB (*Ultra Mobile Broadband*); ainda passíveis de definições de uso por questões regulatórias por parte de governos e padronizações nas indústrias de *hardware*.

A tecnologia OFDMA tem claramente emergido com a quarta geração de redes. A 3GPP incorporou essa tecnologia em suas especificações LTE e a 3GPP2 (*Third Generation Partnership Project Two*) propondo a UMB, um aperfeiçoamento da tecnologia CDMA-2000. LTE e UMB são tecnologias baseadas em IP. UMB pode proporcionar taxas com picos de 280 Mbps, com a diferença de permitir *handovers** com outras tecnologias, como a CDMA-2000 e 1x EV-DO. Após o 3GPP adicionar essa funcionalidade para LTE, tornou-a uma tecnologia vantajosa pela facilidade de implementar redes sem fio por simples melhoria. O mercado para LTE foi favorecido com o fim do desenvolvimento da tecnologia UMB em novembro de 2008.

As redes de quarta geração atendem a demanda por serviços móveis de dados e estão em desenvolvimento em alguns países da Europa. A Suécia, Alemanha e Itália começaram a ter suas redes implementadas com a tecnologia LTE, pela Ericsson, com velocidade média de 28 Mbps. Já existem planos para outros países da comunidade Européia seguirem esse mesmo caminho. A indústria ainda não determinou um padrão para as redes 4G, com empresas e desenvolvedores dando preferência à tecnologia WiMAX da *Sprint Nextel* e outros optando pelo sistema LTE, a evolução dos atuais sistemas W-CDMA.

WiMAX é o acrônimo padronizado para *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, uma marca de certificação para os produtos que passam pelos testes de conformidade e interoperabilidade dos padrões IEEE 802.16. O IEEE 802.16 é o grupo de trabalho número 16 do IEEE 802, especializado no acesso sem fio em banda larga no sistema ponto-multiponto. Os padrões propostos por este grupo são estudados desde 1999 e a primeira publicação ocorreu 2001. Os produtos que passam pelo teste de conformidade do WiMAX possuem interoperabilidade, ou seja são capazes de formar conexões sem fio entre eles para permitir transportar pacotes de dados através da *Internet*. O padrão IEEE 802.16-2004 é designado para transmissões estacionárias e o 802.16e possibilita transmissões estacionárias e móveis. Em outubro de 2007, a UIT aprovou uma revisão do IMT-2000 na Recomendação ITU-R M.1457, incluindo uma sexta interface rádio, a IMT-2000 OFDMA TDD WMAN baseada na IEEE 802.16e. O

padrão IEEE 802.16m, em desenvolvimento, deverá manter compatibilidades com as versões anteriores e atender a gama de especificações de sistemas celulares de quarta geração.

1.2 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS EM BANDA LARGA

A evolução da conectividade de maiores taxas de transmissão verificou-se com acesso fixo através da tecnologia DSL (*Digital Subscriber Line*) e modem a cabo. A tecnologia DSL compartilha os pares de fios trançado da rede local da RTPC, oferece largura de faixa superior a 3,4 kHz, porém o limite máximo de transmissão é restringido pela distância da conexão DSL ao ponto central da rede local. Existem diferentes padrões DSL, conhecidos como xDSL, dentre os quais se destaca o ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), que assegura mais de 60% dos assinantes [51], permitindo 8 Mbps para acessos com 2 km de distância. Os primeiros serviços oferecidos através da tecnologia DSL foram de acesso à internet, e posteriormente, pacotes de serviços com voz, vídeo, especialmente a IPTV (*Internet Protocol Television*), e dados.

A tecnologia de modem a cabo permite transferências com altas taxas em sistemas de TV a cabo. O laboratório *Cable-Labs*, fundado em 1988, introduziu os padrões DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*), que é uma interface de requisitos entre modems a cabo usados em tais transmissões, *PacketCable*, utilizado sobre o padrão DOCSIS, que define requisitos mais avançados para serviços multimídia em tempo real sobre IP, e normas para Vídeo sobre Demanda (VoD - *Video on Demand*), que define especificações para que múltiplos provedores forneçam conteúdo sobre diversas redes a cabo, e *CableHome*, projeto que objetiva serviços em alta qualidade para voz, vídeo, como TV Digital (HDTV – *High Definition TV*) e também dados.

Os serviços de acesso fixo em banda larga também utilizam redes de fibra óptica com a tecnologia FTTH (*Fiber-to-the-home*) para fornecimento de serviços digitais de televisão, rádio, acesso à *Internet* e telefonia. A fibra óptica é levada até as residências, em substituição aos cabos de cobre ou cabos coaxiais, sendo essas conectadas a um ponto de acesso da operadora de serviços de telecomunicações ou distribuições de última milha.

O crescimento dos acessos com altas velocidades de transmissão tem criado a demanda por novas tecnologias para reduzir custos de operação e monopólio dos

provedores de serviços, como também possibilitar acessos em áreas remotas e rurais. Nesse contexto, ocorreu o surgimento de acessos sem fio. O serviço de distribuição de sinais multiponto local (LMDS - *Local Multipoint Distribution Systems*) foi uma notável aplicação sem fio como alternativa para redes cabeadas na década de 1990. LMDS utiliza frequências de 28 a 31 GHz, oferecendo muitas centenas de Mbps. Entretanto, exibiu sucesso por curto período por necessitarem que as antenas tenham visada direta para operação. Posteriormente, sistemas de serviço de distribuição de sinais multiponto multicanal (MMDS - *Multichannel Multipoint Distribution Services*), ou *Wireless Cable*, foram introduzidos no mercado aplicados na frequência de 2,5 GHz. Tais sistemas tornaram-se populares em áreas rurais e provêem maiores taxas que os sistemas LMDS, mas também exige visada direta para operarem. Sistemas LMDS e MMDS também são conhecidos como DOCSIS+.

O desafio de transmissão em meios sem linha de visada foi superado pelo uso da técnica OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), e cuja padronização foi desenvolvida pelos grupos de trabalho IEEE 802. Inicialmente, para prover mobilidade com altas taxas de transmissão adotou-se o conceito de redes sem fio locais (WLAN - *Wireless Local Area Networking*), onde os usuários, dentro de uma pequena área, podem ter acessos fixos sem fio ou nomádicos; o que permitiria, por exemplo, o uso de dispositivos portáteis e também conexões para pontos de acesso DSL, modem a cabo ou conexões *Ethernet*. As redes locais sem fio também são conhecidas por redes Wi-Fi e são baseadas na família padrões IEEE 802.11. Foi uma das grandes novidades tecnológicas dos últimos anos, sendo sua aplicação acentuada pelo crescente número de *hotspots* e o fato de a maioria dos novos computadores portáteis já saírem de fábrica equipados com interfaces IEEE 802.11. Tais redes utilizam faixas de frequências de 2,4 GHz e 5,8 GHz, que não precisam de outorga de autorização de uso.

A tecnologia WiMAX passou a ser desenvolvida pela necessidade de se prover conexões com robustas taxas de dados para extensões maiores de cobertura, atendendo às regiões metropolitanas com acessos fixos, nomádicos e móveis. Abrange um grande número de aplicações multimídia, incluindo conexões em banda larga para última milha, *hotspots* e *backhaul* celular, e conexão corporativa de alta velocidade para empresas.

1.3 OBJETIVO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação discute o emprego da tecnologia WiMAX no Brasil, enfatizando os aspectos regulatórios que lhe são associados. Trata-se de uma grande ferramenta para que as empresas sejam capazes de desenvolver a atualização tecnológica de suas redes, ampliando os serviços de comunicações para os municípios de tal forma que possam superar diferenças sociais e econômicas. Após esta Introdução, o Capítulo 2 aborda a família de padrões 802.16, as camadas de acesso Física e MAC, topologia de rede e arquitetura propostas e as principais características de ambas as versões dos padrões WiMAX, em termos de tecnologia, faixa de operação e aplicação em mercado. Também apresenta uma breve explanação do padrão WiMAX para a quarta geração. O Capítulo 3 descreve o panorama, no Brasil e no exterior, de aplicações WiMAX, mostrando claramente a evolução mundial desta tecnologia. O Capítulo 4 comenta o espectro de frequências, tecendo vantagens e desvantagens das faixas disponíveis. Em continuação, o Capítulo 5 trata, especificamente, do problema da interferência na faixa de 3,5 GHz. O Capítulo 6 introduz uma série de considerações sobre os aspectos regulatórios e o Capítulo 7 reúne as conclusões do trabalho.

É importante comentar que, embora escrita em língua portuguesa, a dissertação utiliza em grande escala termos em inglês. Isto é inevitável devido à linguagem técnica internacional. Sempre que possível, emprega-se o termo traduzido para o português. Entretanto, para os termos onde ainda não há consenso, a dissertação apresenta um extenso glossário, assim como uma lista de abreviaturas e siglas.

2 WiMAX

O WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) é uma tecnologia de acesso sem fio, baseada no padrão IEEE 802.16, sendo aplicada em sistemas de rádio para transmitir serviços com elevadas taxas de transmissão entre usuários e núcleos de redes. O tráfego de informações flui de forma assimétrica ou simétrica e variante no tempo. A faixa de aplicativos é muito extensa e incluem serviços de voz, dados e entretenimento de muitos outros tipos. Sistemas WiMAX são também conhecidos como sistemas multimídia sem fio (MWS – *Multimedia Wireless Systems*), por ser verificada a convergência entre os serviços tradicionais de telecomunicação e de entretenimentos. Esses sistemas rádio tem como benefícios sua implementação rápida e custo relativamente baixo e competem com outros tipos de sistemas com distribuições fixas e sem fio, para conexões de última milha.

Este capítulo abordará a família de padrões 802.16, as camadas de acesso Física e MAC (*Media Access Control*), topologia de rede e arquitetura propostas e as principais características das versões 802.16-2004 e 802.16e em termos de tecnologia, faixa de operação e aplicação no mercado. Também é aqui mencionada uma breve explanação do padrão WiMAX para a quarta geração.

2.1 A FAMÍLIA DO PADRÃO 802.16

A família de padrões 802.16, conhecida por rede sem fio metropolitana (WMAN - *Wireless Metropolitan Area Networks*), está sendo desenvolvida desde 1999 pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*). Esses padrões têm, como princípio fundamental, o suporte diferenciado para QoS (*Quality of Service*), que permite simultâneos serviços multimídia sobre uma simples rede. É a principal forma de prover acesso com altas taxas de transmissão, sendo considerada uma solução alternativa e atrativa para provedores de acesso fixo oferecer serviços em banda larga.

A extensão inicial do padrão IEEE 802.16, publicada em abril de 2001, foi especificada para o intervalo de 10 a 66 GHz e requeria visada direta. Os padrões 802.16 utilizam a tecnologia OFDMA, que foi acrescentada pela emenda 802.16a em 2003. Essa emenda adicionou, também, a transmissão em meio NLOS (*Non Line-of-Sight*), atendimento ao intervalo de 2 a 11 GHz e soluções práticas de última milha. A extensão 802.16c, publicada em 2002, propôs a interoperabilidade, protocolos e especificação de testes de conformação.

A primeira revisão do padrão 802.16, publicada em 2004 como 802.16-2004, consolida as extensões 802.16-2001, 802.16c-2002 e 802.16a-2003. É conhecida por 802.16d, por ter sido referida dessa forma enquanto projeto e, também, como padrão WiMAX fixo ou WiMAX nomádico. Adicionou provisões de suporte para antenas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), cobertura para ambas as aplicações LOS e NLOS em frequências de 2 a 66 GHz, especificações das camadas Físicas (PHY - *Physical*) e camada MAC. Este padrão suporta, também, duas técnicas multiplexação / modulação com portadoras ortogonais: a OFDM com 256 e a OFDMA com 2048 portadoras, porém não implementa *handover*.

O padrão IEEE 802.16e, aprovado em dezembro de 2005, é o padrão de acesso móvel. É conhecido como 802.16e-2005 ou WiMAX móvel. Esta versão permite a combinação de operações fixas e móveis abaixo de 6 GHz e introduz suporte para SOFDMA (*Scalable OFDMA*), que usa um número variável de portadoras. Além disso, o padrão 802.16e do IEEE estabelece suporte para antenas inteligentes MIMO e sistemas de antenas adaptativas (AAS - *Adaptive Antenna Systems*), bem como *hard* e *soft handover*. Aperfeiçoa a capacidade de economizar energia de dispositivos móveis e estende as características de segurança.

Devido à incompatibilidade entre as técnicas de modulação OFDM e SOFDMA, os padrões 802.16e-2005 e 802.16-2004 são incompatíveis. Como resultado, uma estação rádio base com módulo simples OFDM não trabalhará dentro de uma rede SOFDMA, sendo a recíproca é verdadeira.

Ainda existem as extensões 802.16k, para controle da camada MAC, e 802.16j, que desenvolve especificações *multihop relay* e irá especificar uma estação de retransmissão que poderá se comunicar com terminais móveis. Existe, também, os projetos P802.16h, que estabelece os mecanismos de coexistência para frequências isentas de outorga para operação, e o P802.16m, prove suporte a sistemas móveis Wireless MAN-OFDMA – estações móveis e estações rádio base. A flexibilidade dos sistemas de acordo com P802.16m, devido à tecnologia OFDMA, é um distinto benefício e a razão chave, que as indústrias aproveitam, para direcioná-lo à 4G.

A segunda revisão completa do padrão 802.16, que foi aprovada em 2009 com a designação 802.16-2009, agregou os padrões IEEE 802.16-2004, 802.16e-2005 e 802.16-2004/Cor1-2005, e extensões 802.16f-2005 e 802.16g-2007. Essas duas últimas extensões têm como objetivo a introdução do conceito de redes em malha (*mesh*) e adição de outra evolução para suporte à mobilidade, respectivamente.

A Tabela 2.1 apresenta os padrões da família 802.16 de forma resumida:

Padrão	Aplicação	Status [16]
802.16-2004	Padrão IEEE para redes sem fio Metropolitanas e Locais - Parte 16: Interface para sistemas de acesso fixo sem fio em banda larga. É a primeira revisão do padrão IEEE 802.16, agregando os padrões IEEE 802.16-2001, 802.16c-2002 e 802.16a-2003. Foi desenvolvido sob o nome de P802.16-REVd.	Substituído pelo padrão IEEE 802.16-2009.
802.16.2-2004	Implementa a coexistência de sistemas de acesso fixo sem fio em banda larga.	Ativo.
802.16-2004/Cor1	Correção do padrão 802.16-2004 para redes LAN e MAN - Parte 16: Interface para sistemas de acesso fixo sem fio em banda larga. Publicado como parte do padrão 802.16e.	Substituído pelo padrão IEEE 802.16-2009.
802.16e-2005	Emenda que trata as camadas Física e MAC para operação combinada de sistemas fixos e móveis em faixas com outorgas de autorização de uso. Esta publicação inclui a versão IEEE 802.16-2004/Cor1.	Substituído pelo padrão IEEE 802.16-2009.
802.16f-2005	Extensão que implementa base de informação de gerenciamento para camadas MAC e Física e procedimentos de gerenciamento associados.	Substituído pelo padrão IEEE 802.16-2009.
802.16 - Emenda de conformidade 04 - 2006	Emenda de conformidade do padrão IEEE 802.16 - Parte 4: Indicação de conformidade de execução de protocolo para frequências abaixo de 11 GHz.	Ativo.
802.16g-2007	Extensão que introduz procedimentos e serviços de gerência: provê elementos para eficiente <i>handovers</i> , gerenciamento de QoS para alto desempenho e procedimentos de recursos de rádio.	Substituído pelo padrão IEEE 802.16-2009.
802.16k-2007	Padrão IEEE para controle da camada MAC.	Ativo.
802.16-2009	Segunda revisão do padrão 802.16, seguindo os padrões 802.16-2001 e 802.16-2004. Consolida os padrões IEEE 802.16-2004, 802.16e-2005 e 802.16-2004/Cor1-2005, 802.16f-2005 e 802.16g-2007.	Ativo.
802.16j-2009	Emenda para o padrão 802.16-2009 que introduz a especificação para <i>Multihop Relays</i> .	Ativo.
P802.16h	Projeto em desenvolvimento para emenda do Padrão IEEE para redes LAN e MAN - Parte 16: Interface para sistemas de acesso fixo sem fio em banda larga. Promove a coexistência de mecanismos para operações isentas de licenças.	Projeto.
P802.16m	Projeto para obtenção de uma Interface Aérea Avançada.	Projeto.

Tab. 2.1– Família de padrões IEEE 802.16

2.2 PERFIS DOS SISTEMAS WiMAX

Conforme Nuaymi [5], um perfil certificado para sistemas WiMAX é um conjunto de características do padrão 802.16, selecionadas pelo Fórum WiMAX, que é solicitado ou obrigatório de acordo com sua especificação. Esta lista ajusta, para cada um dos perfis de certificação de um perfil de sistema aberto, as características a serem usadas em cada caso. O padrão 802.16 indica que um sistema consiste de cinco componentes de perfis: camadas MAC e PHY, radiofrequência, seleção duplex TDD ou FDD e classes de potência. A faixa de frequências e a largura dos canais são escolhidos de forma a obter a maior cobertura possível e faixa de espectro esperada para WiMAX.

Dois tipos de perfis de sistemas são definidos como fixo e móvel. A Tabela 2.2 mostra perfis de sistemas WiMAX fixo. Esses são baseados sobre a camada física OFDM, conforme o padrão 802.16-2004, e não há muitas mudanças dessa para o perfil móvel. Os perfis atuais usam o modo PMP (Ponto-Multiponto), porém novos perfis de sistemas podem ser definidos refletindo as oportunidades da faixa de frequências e o desenvolvimento de mercado. Adiciona-se aos perfis desta tabela, sistemas WiMAX com canais de largura de 5 MHz na frequência 2,5 GHz, com suas certificações fixas baseadas no padrão 802.16e-2005.

Faixa de Frequências (GHz)	Modo de Duplexação	Largura do Canal (MHz)	Nome do Perfil
3,5	TDD	7	3.5T1
	TDD	3,5	3.5T2
	FDD	3,5	3.5F1
	FDD	7	3.5F2
5,8	TDD	10	5.8T

Tab. 2.2– Perfis de certificação para WiMAX fixo usando camada física OFDM e modo PMP

O padrão 802.16e para WiMAX móvel reconhece o *Release-1 Mobile* WiMAX para perfis de sistemas que são mostrados na Tabela 2.3. Esta se baseia na camada física OFDMA e assume somente a topologia PMP, conforme sugestões do Fórum WiMAX.

A camada física OFDMA possui número múltiplo de subportadoras, equivalente ao tamanho da FFT. E ainda, somente o modo TDD é utilizado, por apresentar maior eficiência de reuso de frequência. O tamanho do quadro (*frame*) é de 5 ms. Os perfis FDD podem ser introduzidos no futuro.

Faixa de Frequências (GHz)	Modo de Duplexação	Largura do Canal (MHz) e número de subportadoras
2,3 a 2,4	TDD	5 MHz e 512; 8,75 MHz e 1024; 10 MHz e 1024
2,305 a 2,32	TDD	3,5 MHz e 512; 5 MHz e 512; 10 MHz e 1024
2,496 a 2,69	TDD	5 MHz e 512; 10 MHz e 1024
3,3 a 3,4	TDD	5 MHz e 512; 7 MHz e 1024; 10 MHz e 1024
3,4 a 3,8	TDD	5 MHz e 512; 7 MHz e 1024; 10 MHz e 1024

Tab. 2.3– Perfis de certificação para WiMAX móvel usando camada física OFDMA e modo PMP

2.3 CAMADAS FÍSICA E MAC

O padrão IEEE 802.16 aplica o conceito de interconexão de sistemas abertos (OSI), modelo de sete camadas que separa as diferentes funções de protocolos em camadas seriadas, onde cada camada trabalha as funções da anterior e exporta os dados para a camada posterior, de acordo com o sentido de transmissão. Somente as camadas mais baixas são implementadas por *hardware*, sendo as demais implementadas por *software*.

As extensões 802.16-2004 e 8002.16e definem duas camadas que são a camada Física e a subcamada MAC. A camada física cria as conexões físicas entre as duas entidades sob comunicação. A subcamada MAC, principal subdivisão da camada de dados, é responsável por estabelecer e fazer manutenção da conexão (múltiplos acessos, escalonamento de processos, etc.), suporta a arquitetura PMP e a topologia em malha por ser estruturada para suportar muitas camadas físicas com mesmo padrão. A Figura 2.1 apresenta as sete camadas OSI e as subcamadas de dados.

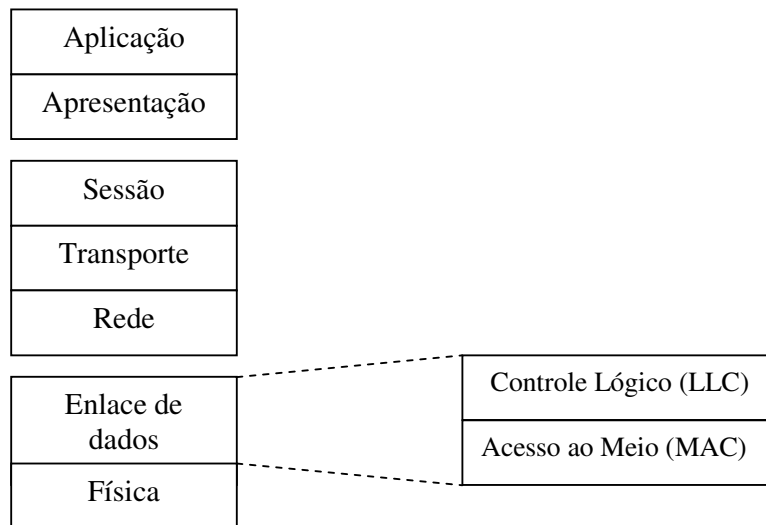


Fig. 2.1 – Figura das camadas OSI e subcamadas de dados

A transferência de dados é feita pelo encaminhamento de um PDU (*Protocol Data Unit*) entre as camadas até chegar à última camada física, que destinará este a rede. Quando uma camada X envia um XPDU para a seguinte, esse é recebido como (X-1) SDU pela camada X-1 da entidade considerada, como mostra a Figura 2.2.

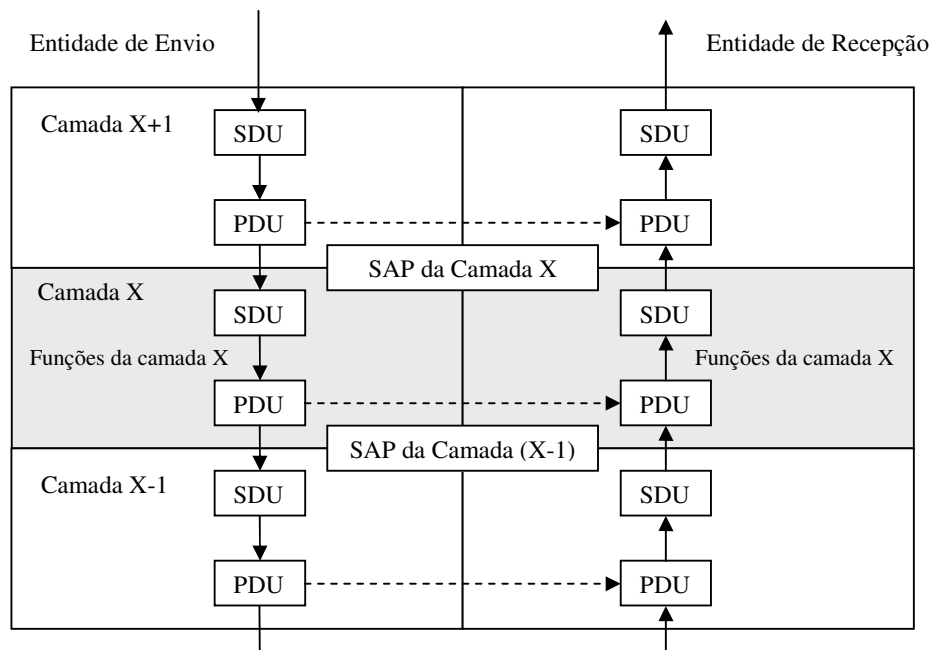


Fig. 2.2 – Comunicação entre camadas

A camada MAC se divide em outras três subcamadas que são: subcamada de Convergência (CS - *Convergence Sub Layer*), subcamada de Parte Comum (CPS - *Common Part Sublayer*) e Subcamada de Segurança (*Security Sublayer*), em ordem decrescente de superposição, conforme Figura 2.3.

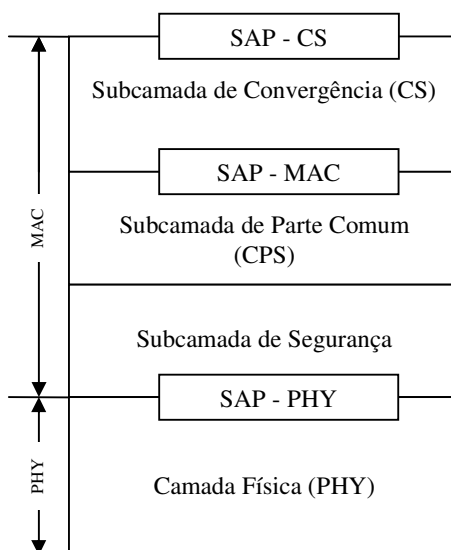


Fig. 2.3 – Subdivisão da camada MAC e seus pontos SAP

A subcamada de Convergência usa os serviços providos pela CPS, via o ponto de acesso (SAP - *Sublayer Access Point*) e desempenha funções como o recebimento de PDU de camadas mais altas, que pode ser por transferência assíncrona e pacotes CS com protocolos Ipv4/Ipv6*; classificação e mapeamento das unidades de serviços de dados apropriadas; processamento, quando necessário, de PDU de camadas superiores, baseado na classificação e liberação dos PDU da CS para a camada SAP - MAC apropriada e receber de outras entidades. Tem ainda a função opcional de supressão de partes repetitivas do quadro ao enviar e restituir estas na recepção.

A subcamada de Parte Comum é a subcamada intermediária da MAC, sendo o seu núcleo. Recebe dados das várias CS, através da MAC SAP, e faz o gerenciamento de mensagens antes e durante o estabelecimento da conexão entre estações assinantes e rádio base. A CPS possui muitos procedimentos de diferentes tipos: construção de quadros, múltiplos acessos, demandas e alocação de faixa, agendamento de processos (*scheduling*), gerenciamento dos recursos de rádio, gerenciamento de QoS, etc.

A subcamada de Segurança provê a autenticação, segurança na troca de chaves, criptografia e controle de integridade de sistemas de acesso sem fio em banda larga. Possui dois tópicos principais de segurança, que são: criptografia de dados e autenticação. Os algoritmos de segurança previnem ataques prejudiciais aos serviços prestados.

A camada física estabelece as condições físicas entre estações em *uplink* e *downlink*. Define o tipo de sinal usado, modulação e demodulação, potência de transmissão e outras características físicas. Em sistemas 802.16, para as frequências abaixo de 11 GHz, três interfaces físicas são propostas para faixas de frequências que precisam de autorização de uso, com tecnologias de duplexação TDD e FDD: *Wireless MAN-OFDM* usando transmissão OFDM, *Wireless MAN-OFDMA* usando transmissão OFDM e OFDMA com camada física própria (OFDMA PHY Layer), e *Wireless MAN-SCa* usando modulações de portadoras simples (SCa – *Simple Carrier*). Todas possuem opções de mobilidade e as duas últimas permitem implementações com topologia em malha.

Para frequências que não necessitam de outorga, a versão de camada física proposta é a *Wireless HUMAN (High-speed unlicensed Metropolitan Area Network)* que utiliza modo TDD. Essa interface está destinada à certificação do WiMAX Fixo, e requer mecanismos de seleção como Seleção Dinâmica de Frequência (DSF - *Dynamic selection frequency*) para facilitar a detecção, evitar e prevenir a interferência entre usuários, incluindo usuários de espectro, identificados pelas operadoras como usuários prioritários.

2.4 TOPOLOGIA DE REDE

O padrão 802.16 define, também, dois tipos possíveis de topologia de rede que são Ponto-Multiponto (PMP) e modo em malha.

As primeiras redes WiMAX implementadas e planejadas seguem, principalmente, a topologia PMP [5]. Para esse modo, o tráfego flui somente entre estação rádio base (BS - *Base Station*) e estações de assinantes SS (*Subscriber Stations*) e, para modo em malha, este pode ser roteado através de outras SS até a BS e, também, somente entre estações SS. PMP é uma topologia centralizada, sendo a BS o centro do sistema. Os elementos de uma rede em malha são chamados de nós, a SS em malha é um nó.

Na topologia em malha, cada estação pode criar seu próprio grupo com qualquer outra estação na rede. A vantagem do modo em malha é permitir que a estação rádio base tenha maior alcance de cobertura de acordo com o número de usuários até a estação de assinantes mais distante. Quando autorizado pela rede em malha, o nó SS candidato recebe uma identificação de 16 bits através da qual é identificada pela BS em malha. Essa identificação de 16 bits é a base da identificação do nó, e é transferida no subcabeçalho em malha de um quadro MAC em mensagens em *unicast* (destino único) e *broadcast* (múltiplos receptores).

2.5 ARQUITETURA

A arquitetura apresentada pelo padrão IEEE 802.16.2-2004, para sistemas FBWA (*Fixed Broadband Wireless Access*), empregam arquitetura ponto-multiponto, que inclui as topologias PMP e malha, conforme os padrões 802.16 de 2001, 2002 e 2003. Outros grupos de projetos como os europeus Hiperaccess (*High Performance Radio Access*) e Hiperman (*High Performance Radio Metropolitan Area Network*) desenvolvem padrões similares. Existe, também, um número de sistemas proprietários onde a interface desse não é padronizada.

Sistemas FBWA incluem estações rádio base BS, estações de assinantes SS, equipamentos terminais (TE - *Terminal Equipment*), equipamentos para núcleo de rede, enlaces intercelular, estações repetidoras (RS - *Repeater Station*) e outros. Um exemplo pode ser visto na figura 2.4.

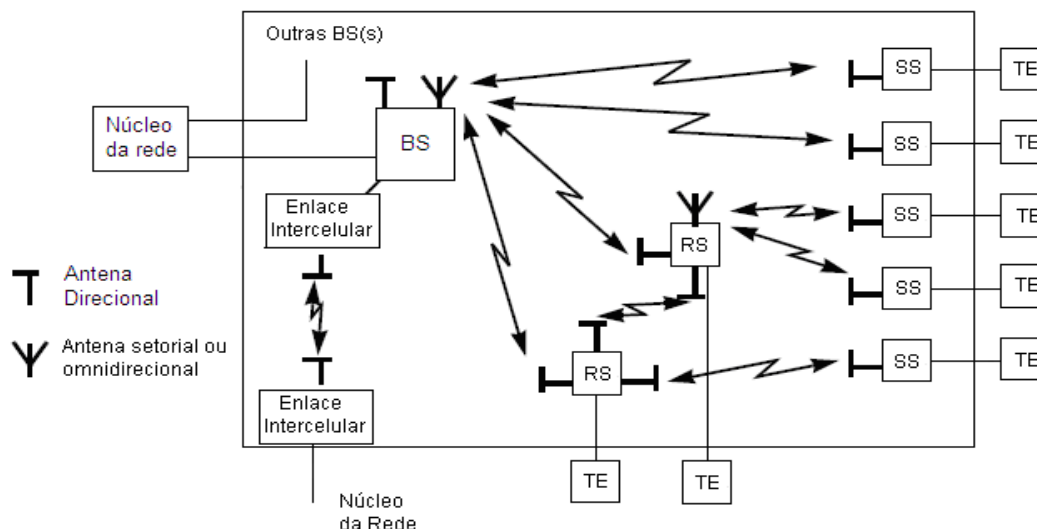


Fig. 2.4 – Exemplo de arquitetura de rede apresentada pelo padrão 802.16

Enlaces intercelulares podem ocorrer por rádio, fibra ou cabos, para promover a conectividade entre estações BS. Em alguns casos, o uso de enlaces de rádio ponto-a-ponto são usados como *backhaul* entre as BS.

Em sistemas PMP, a RS é usada para aumentar a cobertura onde a BS não tem linha de visada dentro sua área de cobertura normal, ou como forma alternativa de expandir a cobertura de uma BS específica com transmissão normal. Uma estação repetidora retransmite as informações de uma BS para outra ou para um grupo de SS e também pode promover uma conexão para um SS local, bem como para seus usuários, ou pode usar diferentes frequências (demodular ou remodular o tráfego em canais diferentes). Em sistemas WiMAX, a maioria das estações repetidoras também podem prover conexões para assinantes locais. A interface entre o núcleo de rede e a estação rádio base é padronizada.

Em alguns casos, os sistemas PMP compreendem estações BS, SS e RS. A conexão entre as BS pode ser por enlaces de rádio, cabo de fibra óptica ou coaxial. Pode-se, também usar, quando necessário, a destinação da mesma frequência, onde o núcleo da rede seleciona a correta BS, a SS utiliza antenas direcionais com face para as BS e compartilhando o mesmo canal.

Sistemas em malha têm diferente funcionamento dos sistemas ponto-multiponto. Uma estação rádio base promove conexões com núcleos de rede e também uma ou mais conexões rádio com outras estações de mesmo tipo. Uma estação de assinantes pode ter conexão com terminais usuários ou com uma estação repetidora, com acesso ao tráfego local caminhando por outras estações repetidoras até a estação de destino.

O Fórum WiMAX é o responsável por desenvolver protocolos, arquitetura e requerimentos de rede para WiMAX, usando a interface 802.16e de forma a assegurar a interoperabilidade entre redes e vendedores.

O Grupo WiMAX desenvolveu uma arquitetura modelo de rede para servir como referência e assegurar a interoperabilidade entre vários equipamentos e fabricantes. Esse é um modelo baseado sobre estrutura IP e visa uma unificação das arquiteturas de rede para suportar implementações fixas e móveis. A Figura 2.5 mostra uma ilustração de uma arquitetura de rede WiMAX. De acordo com [6], toda essa rede é dividida em três partes: estações móveis (MS – *Mobile Station*) usadas pelo usuário final para acessar a rede, a rede de serviços de acesso (ASN – *Access Service Network*),

que compreende uma ou mais estações rádio base e um ou mais *gateways** ASN, que formam rede de acesso por conexões rádio, e a rede de serviço de conectividade (CSN – *Connectivity Service Network*), que provê todas as funções de núcleo de rede IP.

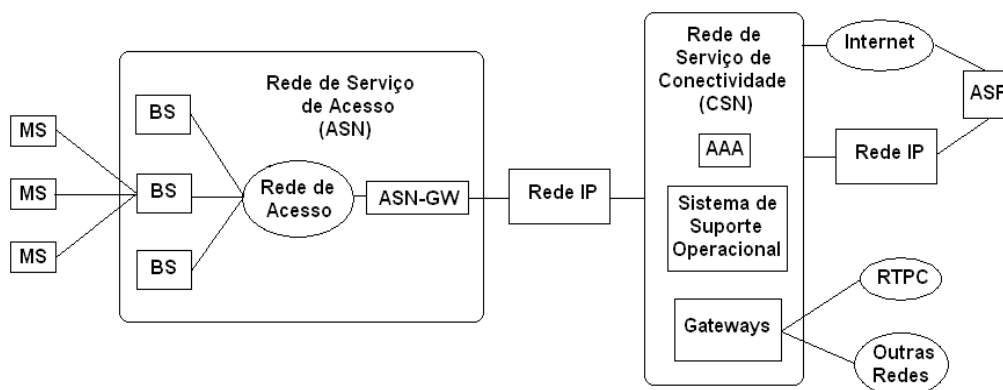


Fig. 2.5 – Arquitetura de rede WiMAX

A estação rádio base BS pode assumir funções adicionais como gerenciamento de micromobilidade, como controle inicial do *handover* e capacidade de criar conexão virtual entre duas estações (tunelamento), e gerenciamento dos recursos rádio, execução de QoS, classificação de tráfego, *Proxy DHCP* (*Dynamic Host Control Protocol*), gerenciamento de chave, gerenciamento de sessão e gerenciamento de grupo *multicast* (múltiplos destinos).

A porta de entrada (*gateway*) da rede de serviços de acesso (ASN-GW, *Access Service Network-Gateway*) atua, tipicamente, como ponto de agregação de tráfego da segunda camada dentro de uma ASN. Podem ter funções adicionais de gerenciamento de ASN local e serviço de busca, gerenciamento dos recursos rádio e controle de admissão, arquivos de dados dos assinantes e chaves de criptografia, funcionalidade de autenticação, autorização e relatoria (AAA – *Authentication, Authorization, Accounting*), tunelamento com estações rádio base, execução da prática de QoS, funcionalidade de agente externo para IP móvel, e roteamento para seleção de CSN.

A rede de serviços de conectividade (CSN – *Connectivity Service Network*) é composta por uma ou mais CSN que provêm a conectividade para Internet, provedores de serviços aplicados, outras redes públicas e redes corporativas. A CSN controla a NSP e servidores AAA que suportam a autenticação de dispositivos, usuários e serviços

específicos. Também estabelece prática de gerenciamento de QoS e segurança por usuário, sendo responsável pelo gerenciamento de endereço IP, suporte de *roaming* entre diferentes NSP, e de locação, mobilidade e *roaming* entre ASN.

A arquitetura de rede é definida por múltiplos fabricantes e permite três linhas de negócios: provedor de acesso de redes (NAP – *Network Access Provider*), que possui e opera as ASN; provedor de serviços de rede (NSP – *Network Services Provider*), que provê conectividade IP e serviços WiMAX para assinantes usando a infraestrutura ASN estabelecida por uma ou mais NAP; e provedor de serviços aplicados (ASP – *Application Service Provider*), que provê serviços de valor adicionado como aplicações multimídia sobre IP (IMS - *IP Multimedia Subsystem*) e VPN corporativa (*Virtual Private Network*). Essa separação entre NAP, NSP e ASP é designada para habilitar o sistema para serviços WiMAX.

A arquitetura de rede permite flexibilidade para decompor e/ou combinar as entidades funcionais, quando construídas suas partes físicas. Por exemplo, a ASN pode ser decomposta em estação rádio base do tipo transceptores, controladora e uma ASN-GW, análoga ao modelo de rede GSM, e nó de suporte para serviços GPRS. Também se pode simplificar uma BS e uma ASN-GW em único dispositivo, como um roteador WiMAX.

A arquitetura de referência define interfaces entre as entidades funcionais que carregam controles e gerenciamento de protocolos em suporte das funções como mobilidade, segurança e QoS, adicionados na carga dos dados. As interfaces, também chamadas pontos de referência, são apresentadas na Tabela 2.4.

Ponto de Referência	Interface	Aplicação
R1	MS e ASN	<i>Interface</i> que inclui todas as características das camadas físicas e MAC. Suporta usuários de tráfego e controle de mensagens.
R2	MS e CSN	<i>Interface</i> lógica que contém todos os protocolos e outros procedimentos que envolvem autenticação, autorização de serviços, gerenciamento da configuração de <i>hosts</i> IP e mobilidade.
R3	ASN e CSN	<i>Interface</i> lógica que conduz mensagens de controle e de dados (métodos AAA, QoS e gerenciamento de mobilidade para recolocação da MS) e informações de dados através da comunicação entre ASN e CSN.
R4	ASN e ASN	<i>Interface</i> que suporta a mobilidade entre ASN ou ASN-GW. Conduz mensagens de controle e troca de mensagens de dados, especialmente durante os <i>handovers</i> de um usuários WiMAX entre ANS e ANS-GW ou durante procedimentos de identificação da localização em modo desocupado. Esse ponto de referência somente está presente entre ASN de diferentes fabricantes.
R5	CSN e CSN	Suporta <i>roaming</i> pelas NSP. Consiste do conjunto de controle e métodos de dados entre CSN da NSP visitadas e NSP de origem.
R6	BS e ASN-GW	Consiste da comunicação entre ASN e eventos de mobilidade para túneis IP. Essa interface também pode conduzir, combinada com o R4, informações de estados MAC transmitida pelo R8, quando a interoperabilidade entre estações BS está indisponível.
R7	BS para BS	É uma interface lógica opcional entre as funções de decisões a executá-las na ASN-GW.
R8	BS para BS	É uma interface lógica. Conduz a troca do fluxo de controle, que é usado para habilitar <i>handovers</i> entre estações BS podendo, opcionalmente, conduzir mensagens durante esse processo. A R8 pode pertencer também a ASN-GW.

Tab. 2.4– Relação dos Pontos de Referência definidos pela interface entre elementos de rede

O protocolo usado sobre o ponto referência R1 é o 802.16-2004, para instalações fixas com comunicação sem fio, ou 802.16e, para clientes estacionários e móveis. O ponto de referência R6 pelo primeiro padrão possui interface proprietária, o que significa que, em uma ASN-GW, todas as estações rádio base conectadas precisam ser de mesmo fabricante, entretanto o padrão 802.16e permite configurações mistas.

A Figura 2.6 ilustra as interfaces de comunicação como pontos de referência.

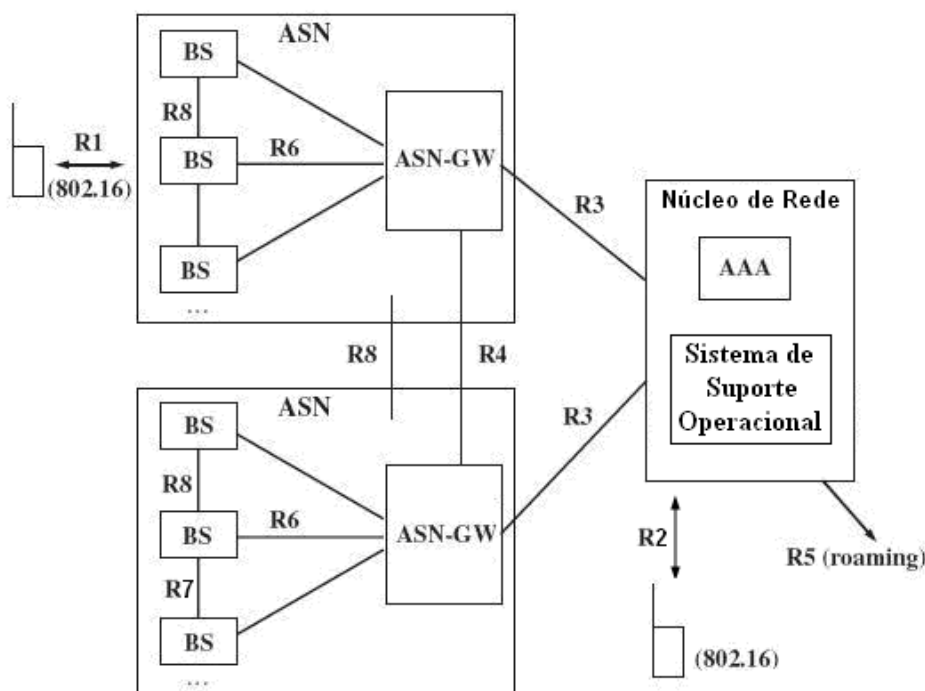


Fig. 2.6 - Pontos de Referência definidos pela interface entre elementos de rede

2.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS PADRÕES 802.16-2004 E 802.16e

Uma grande diferença entre os padrões WiMAX 802.16-2004 e 802.16e é a técnica de multiplexação adotada. O primeiro usa OFDM e o segundo, OFDMA. O padrão 802.16-2004 atende a aplicações fixas, que usam antenas direcionais, pelo fato de OFDM ser menos complexo que SOFDMA. Como resultado, redes 802.16-2004 tornaram-se de mais fácil implementação e menor custo. Este fato facilitou a certificação de equipamentos.

A tecnologia OFDMA provê maior flexibilidade quando gerencia diferentes dispositivos para usuários como uma variedade de antenas e fabricantes. Também reduz a interferência de dispositivos com antenas omnidirecionais e melhora o potencial em situações NLOS, que é essencial para o atendimento a assinantes móveis. Permite a subcanalização, que é a definição de subcanais alocados para diferentes assinantes, dependendo das condições do canal e de seus requerimentos de dados. Isto dá à operadora maior flexibilidade no gerenciamento da taxa de transmissão, da potência transmitida e uso mais eficiente dos recursos. Dentro de uma mesma janela de tempo, a potência transmitida pode ser alocada com maior intensidade para um usuário em condições menos favorável de canal, enquanto se diminui a potência para outros

usuários em melhores localizações. OFDMA melhora a cobertura por permitir a alocação de alta potência para subcanais assinados por usuários internos a ambientes fechados (*indoor*).

O suporte para *handovers* é outra característica importante no padrão 802.16e. A habilidade de manter a conexão enquanto há movimentos nos limites das células é um pré-requisito para a mobilidade entre células e permite suportar os mecanismos de *hard* e *soft handover*. No primeiro, o canal da célula fonte é liberado e, somente depois, um novo canal é acoplado. Esse processo ocorre de forma instantânea, a fim de minimizar o rompimento à chamada. No segundo, o canal da célula fonte é retido e usado em paralelo com o novo canal acoplado até que seja associado pela nova célula. *Soft handover* é um mecanismo mais complexo que *hard handover*, porém com menor latência. Aplicações como serviços de dados são suportadas pelo *hard handover* e jogos ou voz sobre IP (VoIP - *Voice over Internet Protocol*) são beneficiadas com baixa latência através do *soft handover*.

Ambos os padrões 802.16-2004 e 802.16e podem implementar a capacidade de *roaming* através de provedores de serviços, sendo essa característica importante para acessos móveis e portáteis. Esse serviço é implementado por plataforma de operação superior às camadas física e MAC.

As aplicações dos padrões WiMAX atendem aos diferentes segmentos de mercado, que possuem necessidade de altas taxas de fluxo de dados (*throughput**) e distintos serviços contratados. De acordo com [14], em aplicações fixas com funcionalidade básica, os padrões 802.16-2004 e 802.16e têm desempenho similar. A taxa de fluxo de dados máxima de um setor simples para ambas as versões é, aproximadamente, de 15 Mbps para um canal de 5 MHz, ou 35 Mbps para um canal de 10 MHz. A faixa de alcance de uma estação rádio base em área de população urbana densa pode chegar a poucos quilômetros dependendo dos atributos como o tipo de CPE, faixa de frequências, mobilidade, morfologia e outros. Em redes com capacidade limitada, o número de estações rádio base instaladas depende da demanda do fluxo de dados.

O desempenho, entretanto, das duas versões de WiMAX pode mudar para aplicações específicas pelo fato do padrão 802.16-2004 ser otimizado para acesso fixo e nomádico e o 802.16e, para acesso móvel, apesar de poder ser empregado em acesso fixo.

As vantagens oferecidas pelo produto 802.16-2004 para redes fixas são: modulação menos complexa pelo uso de OFDM que não requerer suporte para mobilidade; possibilidade de uso das faixas isentas de outorga que são muito utilizadas por áreas onde os níveis de interferência são aceitáveis; altas taxas de fluxo de dados que é necessária para o segmento de usuários empresariais que possuem tráfego intenso e também para CPE com antenas externas. Entretanto, as operadoras podem optar pelo padrão 802.16e por oferecer: suporte à mobilidade, que permite *handover* acima de 120 km/h; melhor cobertura em ambientes internos proporcionada pela subcanalização e opções de sistemas de antenas adaptativos; melhor flexibilidade no gerenciamento dos recursos de espectro devido à subcanalização, que permite o uso de redes inteligentes para alocar recursos necessários aos dispositivos e se torna importante característica para operadoras com limite de espectro, por poder proporcionar maiores taxas e melhor cobertura *indoor*; e uma maior variedade de fabricantes e dispositivos.

2.7 FAIXAS DE OPERAÇÃO

O padrão 802.16 classifica as frequências abaixo de 11 GHz em faixas que necessitam de outorga de autorização de uso e isentas de outorga para sistemas WiMAX. As operadoras optam por faixas com autorização outorgada de uso para obterem garantia de serviços, principalmente em regiões urbanas densas, pois operam em caráter primário. As frequências isentas de outorgas são geralmente usadas em regiões menos densas, áreas rurais e em cobertura de áreas menores como campos empresariais ou acadêmicos e iniciativas privada, onde a possibilidade de ocorrência de interferência prejudicial é menor e passíveis e serem tratadas.

Diferentes faixas de frequências podem ser utilizadas para implementações WiMAX. Cada faixa tem sua característica única e impacto significativo no desempenho do sistema. As faixas de frequências mais comuns no mercado global são de 2,3 GHz, 2,5 GHz e de 3,3 a 3,8 GHz, que necessitam de outorga de autorização de uso, e as faixas de 2,4 e 5,8 GHz, isentas de outorga. Um resumo sobre as possíveis bandas é mostrado na Tabela 2.5, e uma descrição mais detalhada será apresentada no capítulo 4.

Designação	Frequências Destinadas	Faixa de Espectro	Nota
Faixa UHF em 700 MHz	698 a 746 MHz e 747 a 792 MHz	30 MHz na parte superior da faixa e 48 MHz na parte inferior.	Alocação atual americana, mas também pode ser encontrada em outras partes do mundo.
Serviços <i>Wireless</i> Avançados	1,72 a 1,755 GHz e 2,11 a 2,155 GHz	Dois pares de 2 x 45 MHz.	Alocação atual nos EUA. Em outras partes do mundo é geralmente usada para 3G.
Serviços de Comunicação sem fio em 2,3 GHz	2,305 a 2,32 GHz e 2,345 a 2,36 GHz	Dois pares de 2 x 5 MHz, dois canais de 5 MHz.	Alocação atual americana, mas também encontrada na Coreia, Austrália e Nova Zelândia.
Faixa de 2,4 GHz, isenta de outorga	2,4 a 2,4835 GHz	Bloco único de 80 MHz.	Alocação atual nos EUA.
Serviços em banda larga em 2,5 GHz	2,495 a 2,69 GHz	Canal total de 194 MHz, distribuídos em licenciáveis de 22,5 MHz.	Alocação atual nos EUA e também encontrada em outros países.
Acesso fixo sem fio em 3,5 GHz	3,4 a 3,6 GHz na maior parte das aplicações, mas as faixas de 3,3 a 3,4 GHz e 3,6 a 3,8 GHz podem ser encontradas disponíveis em alguns países	200 MHz na maioria das aplicações, as variações de 2 x 5 MHz a 2 x 56 MHz podem ser encontradas.	Não aplicável nos EUA. Uma fatia de 50 MHz está alocada entre 3,65 a 3,7 GHz para operação isenta de licença nos EUA.
Faixa de 5 GHz, isenta de outorga	5,25 a 5,35 GHz e 5,725 a 5,825 GHz	Canal de 200 MHz	Geralmente disponível.

Tab. 2.5– Possíveis faixas para operação de serviços WiMAX

2.8 PONTOS RELEVANTES NA ESCOLHA DO PADRÃO

Ao analisar a construção de redes móvel ou fixa, deve-se selecionar qual solução de WiMAX será implementada para atender fatores como alvo de segmento de mercado, viabilidade de espectro, aspectos regulatórios e o período de construção da rede.

Uma operadora que esteja construindo uma rede *overlay** para completar sua rede 3G poderá optar pelo padrão 802.16e. Um provedor de *internet* sem fio (WISP - *Wireless Internet Service Provider*), que planeja propor serviços em área rural, poderá aplicar o padrão 802.16-2004 por ser menos complexo.

O órgão regulador ou a agência reguladora de cada país especifica os tipos de serviços oferecidos por faixas de espectro. Alguns países europeus têm a faixa de 3,5 GHz limitada a serviços fixos e nomádicos, o que torna precária a adoção do padrão 802.16e nessa faixa.

Com relação ao segmento de mercado, as operadoras precisam especificar o tipo de cliente e a demanda de taxas de fluxo de dados. No caso de clientes empresariais e residenciais em ambientes LOS, as CPE com antenas externas proporcionarão maiores taxas de fluxo de dados. Nesse caso, o padrão 802.16-2004 será a melhor opção, entretanto, caso a operadora possua parte do mercado de rede móvel, a adição de CPE 802.16e se tornará viável.

Ambos os padrões WiMAX podem coexistir com as tecnologias existentes e serem aplicados, como novas redes, para atender o crescimento da demanda para acesso em banda larga nos segmentos fixos e móvel. As operadoras também podem migrar do padrão 802.16-2004 para 802.16e por construções de formas diferentes [14]. Considere que uma operadora tenha uma rede baseada no padrão 802.16-2004. Essa rede poderá migrar para o padrão móvel construindo nova rede *overlay* baseada no padrão 802.16e. As redes de ambos os padrões poderão operar paralelamente, porém o usuário terá que ter dispositivos de acesso distintos para cada rede ou um dispositivo *dual-mode**, onde os assinantes terão acesso aos dois modelos de redes por um único dispositivo, sendo que a permuta (*swap*) entre as redes ocorre automaticamente. Em poucos casos, a migração entre padrões também poderá ocorrer por aprimoramento de *softwares* da estação rádio base. Essa solução pode ser aplicada juntamente com dispositivos *dual-mode*, ou por implementação de estação rádio base *dual-mode*, que suporta ambos os padrões e podem atender aos diferentes dispositivos de usuários dos padrões 802.16-2004 e 802.16e.

O padrão 802.16-2004 é destinado a prover soluções otimizadas a acessos fixos e nomádicos e o padrão 802.16e, a soluções para dispositivos portáteis e móveis. A Tabela 2.6 apresenta os diferentes tipos de acessos e seus requisitos.

Tipo de Acesso⁽²⁾	Dispositivos	Locação/Velocidade	Handovers	802.16-2004	802.16e
Acesso Fixo	CPE externas e internas	Simples/ Fixo	-	Sim	Sim
Acesso nomádico	CPE internas e laptop PCMCIA ⁽³⁾	Múltiplo/Fixo	-	Sim	Sim
Portátil	Laptop PCMCIA ou minicards	Múltiplo/Velocidade de caminhada	<i>Hard handover</i>	-	Sim
Mobilidade Simples	<i>Laptop PCMCIA ou minicards, PDA⁽⁴⁾ ou telefones inteligentes (smarthphones)</i>	Múltiplo/Baixa velocidade veicular	<i>Hard handover</i>	-	Sim
Mobilidade Completa	<i>Laptop PCMCIA ou minicards, PDA ou telefones inteligentes</i>	Múltiplo/Alta velocidade veicular	<i>Soft Handover</i>	-	Sim

Tab. 2.6– Tipos de acesso para rede WiMAX

2.9 MERCADO E APLICAÇÕES

As aplicações relativas a soluções sem fio de acesso fixo são classificadas como ponto-a-ponto ou ponto-multiponto. A primeira classificação trata conectividade dentro de mesma edificação, como prédios universitários, e *backhaul* por microondas. A segunda abrange acessos para escritórios de pequeno porte ou residenciais (SOHO – *small office/home office*), empresas de pequeno a médio porte (SME - *small to medium-enterprise*), variações do modo T1*, e *backhaul*. A Figura 2.6 apresenta exemplos de aplicações ponto-multiponto [6].

(2) Os diferentes tipos de acesso são apresentados no Anexo.

(3) PCMCIA - *Personal Computer Memory Card International Association*

(4) PDA - *Personal Digital Assistants*

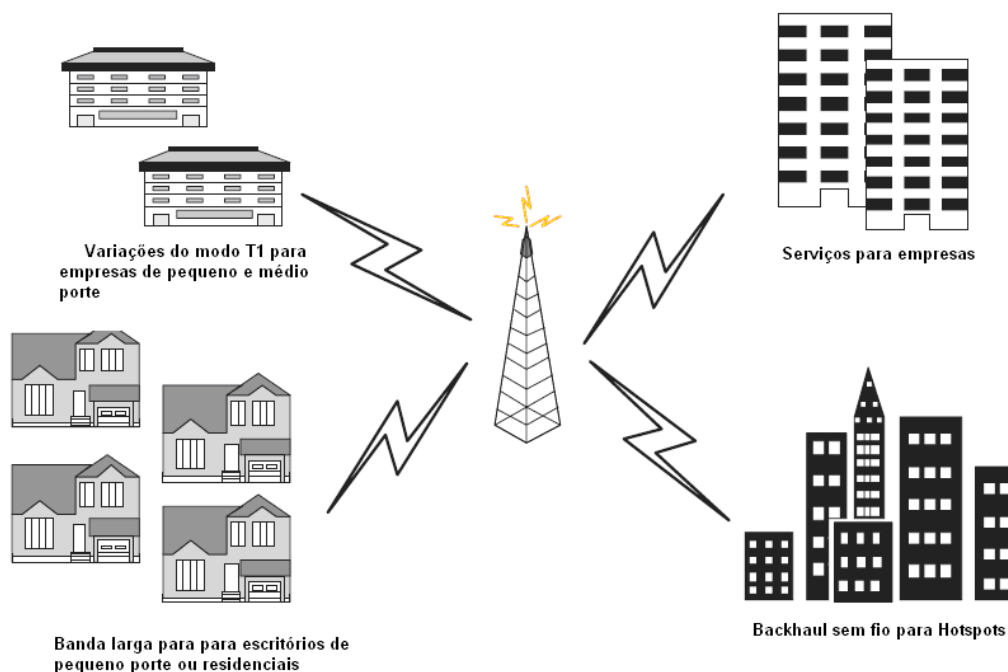


Fig. 2.7 - Exemplos de aplicações ponto-multiponto

O segmento de mercado para usuário individuais e pequenas empresas é muito atraente para aplicações WiMAX. Serviços de acesso fixo em banda larga provêm acesso à *internet* de alta velocidade, serviços de voz sobre IP, e *hosts* para outras aplicações, baseadas em *internet*. Redes fixas sem fio oferecem muitas vantagens sobre as soluções tradicionais de fio, que incluem implementação menos onerosa com obtenção de lucros em menor tempo, custo reduzido de manutenção, gerenciamento e operação, como também independência de outras áreas. São usadas em áreas de menor densidade ou rurais por países que possuem extensa infraestrutura de fios, e os serviços para essas áreas podem ser oferecidos por companhias de telefonia ou pequenos provedores, como provedores de acesso à *internet* sem fio (WISP - *Wireless Internet Service Providers*), ou pela prefeitura comunidade local. Redes desse tipo permitem a competitividade dos provedores de serviços que podem usar WiMAX em vez de DSL e provedores a cabo em mercados urbanos e suburbanos. Também as companhias de TV via satélite podem oferecer altas taxas de transmissão para serviços voz e dados, o que torna WiMAX uma solução de considerável potencial.

Outra oportunidade para WiMAX fixo é de ser uma solução competitiva frente aos modos de T1 ou E1*, ou variações desses, e outros serviços de alta velocidade para o mercado comercial. Isto porque pode introduzir soluções em termos de tempo, mercado, preço e fornecimento dinâmico de acesso em banda larga.

Uma interessante aplicação para WiMAX fixo é de servir como conexão de *hotspots* para Wi-Fi distribuídos por áreas públicas como centros de convenções, hotéis e aeroportos, entre outros. O mercado para esse tipo de enlace tem aumentado consideravelmente. Similarmente, WiMAX também pode servir como *backhaul* para redes com tecnologia celular de terceira geração.

Com o WiMAX móvel as operadoras podem oferecer serviços para dispositivos portáteis e móveis, onde os provedores podem permitir acessos não somente em locais específicos – casas, escritórios, *shoppings*, etc. Serviços com altas velocidades de transmissão para acesso pessoal também tendem a ter grande demanda e, dentre esses, pode-se citar jogos interativos, serviços de áudio e vídeo aberto para dispositivos MP3 e mídia. Também serviços sobre IP como VoIP e IPTV podem ser atendidos.

2.10 PADRÃO 802.16m

As atuais especificações não qualificam WiMAX como uma tecnologia 4G. Entretanto, de acordo com MCBEATH [15], as especificações para Wireless MAN-OFDMA apresentadas pelo padrão 802.16m, irão prover um avanço na interface aérea com relação aos requerimentos de camadas para sistemas celulares de quarta geração, sendo conhecida como IMT *Advanced*,

As demandas de usuários para serviços com altas taxas de dados podem ser implementadas com grande eficiência espectral, que institui as tecnologias OFDMA e antenas MIMO. Outra forma de aumentar o fluxo de dados é incrementar largura de faixa, que é a faixa do espectro destinada à operação de um sistema. A taxa de transferência total de dados também será incrementada pelo uso de uma ou mais portadoras para transmissão de dados. A aplicação multi-portadoras torna os padrões 802.16e e 802.16m compatíveis e os dispositivos móveis de ambos os padrões poderão ser servidos pela mesma estação rádio base, sobre a mesma portadora. Entretanto, um dispositivo 802.16e não identificará canais compactados e continuará usando somente uma portadora. Para serem compatíveis, zonas de alta velocidade foram introduzidas nos quadros, que estão disponíveis para dispositivos 802.16m.

A nova versão do padrão 802.16, de acordo com Sauter [17], também introduz a auto-organização da estação rádio base através de métodos e procedimentos que requerem que os dispositivos móveis executem medidas para identificar possível interferência em sua posição e retorná-las à estação. A informação recolhida dos diferentes dispositivos poderá ser usada pela estação rádio base para fazer ajustes de controle de potência e potencial para controlar uso da frequência de estação vizinha, promovendo uma coordenação entre estações de mesmo tipo.

3 CENÁRIOS INTERNO E EXTERNO

A demanda por conectividade está fazendo com que as operadoras, em todo o mundo, criem modelos de negócio competitivos, lucrativos e de baixo custo para adoção de altas velocidades de transmissão. Conectividade não significa apenas impacto na economia de um país, mas principalmente, possibilidades de benefícios sociais.

De acordo com a empresa americana de consultoria Maravedis, em 2007 existiam mais de um milhão e setecentos mil usuários com acesso em banda larga em todo o mundo. O impacto dessa cifra já pode ser verificado pelo número de empresas envolvidas no desenvolvimento de produtos e aplicativos para essa tecnologia de infraestrutura. O Fórum WiMAX estima que mais de mil produtos serão certificados pela instituição até 2012, e também que mais de cento e trinta e três milhões de pessoas vão utilizar a tecnologia WiMAX móvel e fixa. Desse total, 70% dos usuários vão empregar dispositivos equipados com WiMAX móvel e portátil para dispor serviços de acesso à *internet* de banda larga.

A tecnologia WiMAX é considerada também uma tecnologia de terceira geração celular quando aplicado o padrão IEEE 802.16e. É principalmente empregada nas faixas de 2,5 GHz e 3,5 GHz. Essa última faixa compartilha frequências com o serviço fixo por satélite, situação na qual se verifica ocorrência de interferências prejudiciais.

Esse capítulo descreve os cenários atualmente existentes no Brasil e no exterior de aplicações WiMAX, da distribuição das estações terrenas para serviços por satélite e dos sistemas de terceira geração celular. O estudo sobre possíveis interferências será abordado posteriormente.

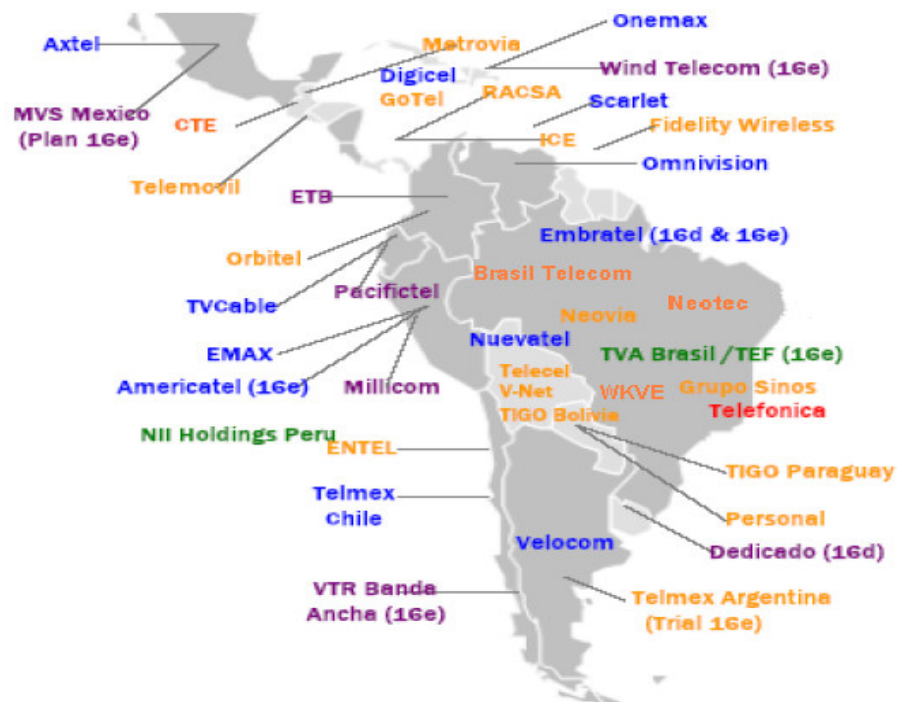
3.1 CENÁRIO EXTERNO

Esse item trata o atual cenário mundial das aplicações WiMAX, da distribuição das estações terrenas para serviços de satélite e dos sistemas de terceira geração celulares.

3.1.1 Tecnologia WiMAX no mundo

a) Américas Central e Latina

A Figura 3.1 apresenta as principais operadoras da América Central e da Latina e o desenvolvimento da tecnologia BWA. Essas regiões continham 20% dos assinantes da base WiMAX mundial no terceiro quadrimestre de 2008. As cinco operadoras com mais assinantes eram Telecel do Paraguai, MVS e Axtel do México, Orbitel da Colômbia e Neovia do Brasil. Operadoras nessa região oferecem velocidades médias de *downstream* de 512 kbps para assinantes residenciais e de 1 a 2 Mbps para assinantes empresariais.



Status das implementações	
-	802.16e
-	802.16d
-	Teste ou distribuição
-	Planejamento
-	Perspectiva de inauguração ou implementação em 2009

Fig. 3.1 - Principais operadoras BWA das Américas Central e Latina

A maior parte das empresas oferece planos de serviços WiMAX como complemento de suas redes DSL ou a cabo. Essas aplicações são, frequentemente, direcionadas por serviços de *internet* de alta velocidade e VoIP (*double-play*). A maior parte do espectro destinado na região é de 3,5 GHz onde, aproximadamente, 80% das operadoras têm aplicações nessa faixa de frequências. Algumas operadoras utilizam o padrão IEEE 802.16e e equipamentos de mesmo padrão, limitados a serviços para acessos fixos ou nomádicos. Como exemplos, pode-se citar a Axtel no México e a Telmex no Peru, operando em 3,5 GHz e redes implementadas com equipamentos Motorola, a Telmex no Chile com mesma frequência e equipamentos Alcatel-Lucent e, também, a Movilmax na Venezuela, operando em 2,5 GHz e implementado equipamentos Samsung.

Em 2008, ocorreu lançamento da tecnologia WiMAX em algumas cidades da Bolívia e Equador e, também, a regulamentação de faixas de frequências destinadas ao serviço de acesso em banda larga, pela Argentina, na faixa de 3,5 GHz. Estima-se que as Américas Central e Latina possuíam 20% das redes WiMAX do mundo em junho de 2009, contando redes em serviço, planejamento ou desenvolvimento (a estação rádio base está implementada e inativa), e 11,3% do total de assinantes de WiMAX.

b) América do Norte

A Figura 3.2 apresenta a distribuição das principais operadoras com tecnologia WiMAX na América do Norte.

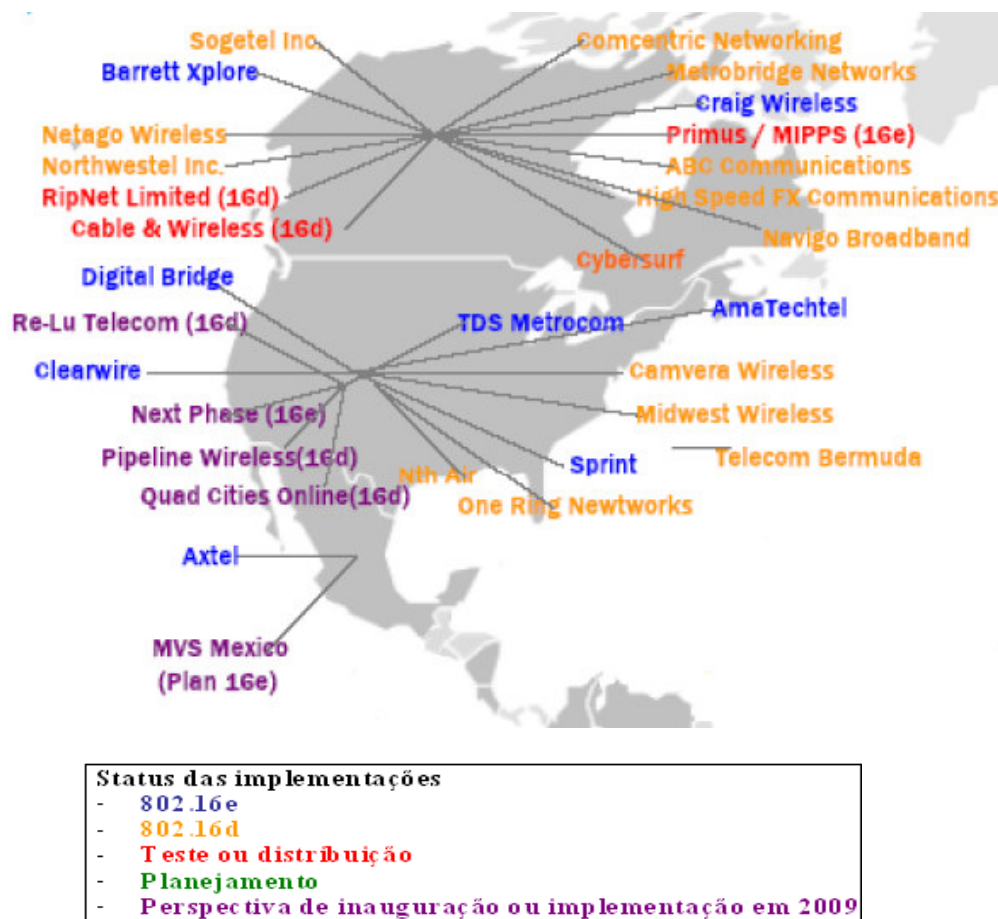


Fig. 3.2 - Principais operadoras BWA da América do Norte

A *Clearwire* é maior operadora de telecomunicações dos EUA, que possui aplicações com a tecnologia WiMAX. Essa empresa é uma composição das empresas *Sprint* e antiga *Clearwire*, e conta com investimentos de grandes fabricantes como *Intel*, *Google*, *Comcast*, *Time Warner Cable* e *Bright House Networks*. A *Intel* é responsável por trabalhar para que os fabricantes de *notebooks* e dispositivos móveis adicionem *chips* WiMAX em seus projetos, o *Google* atua no desenvolvimento de serviços para *internet* e em um protocolo aberto para dispositivos móveis de banda larga. *Comcast*, *Time Warner Cable* e *Bright House Networks* têm contratos para compra de serviços WiMAX no atacado da *Clearwire*, operando como operadores virtuais. A *Clearwire* começou a prover serviços WiMAX móvel em Portland, Oregon e Baltimore, e possui planos de incluir outras cidades e ter cento e vinte milhões de acessos até o final de 2010. Essa rede é nacional e adicional ao serviço pré-WiMAX, em mercado menor já existente.

Em 2008, a União Européia harmonizou o uso da faixa de 2,6 GHz para o desenvolvimento do WiMAX móvel no continente, o que permite fornecer a estrutura técnica essencial, a flexibilidade de serviços e disponibilidade de espectro. A faixa de 3,5 GHz também foi harmonizada para serviços de comunicações eletrônicas.

Na Itália, em Fevereiro de 2008, foi realizada licitação de frequências entre 3,4 a 3,6 GHz para WiMAX. Onze empresas saíram vencedoras, sendo as principais ARIADSL, AFT, E-VIA Gruppo Retelit e Telecom Itália. A Itália licitou dois lotes (Blocos A e B) para cada uma das sete macro-regiões em que é dividida, e um lote para cada uma das vinte e uma regiões do país, classificado como Bloco C e destinados a novos entrantes no mercado. Doze destes blocos foram arrematados pela AFT.

Na Holanda, a *WorldMax* oferece um plano de acesso à *internet* de banda larga, sem limites de *download*, e com velocidade mínima de 2 Mbps. Na Suécia, cinco empresas venceram a licitação de 2,6 GHz para WiMAX. A Intel adquiriu um bloco de 50 MHz de espectro TDD. Tele2, Telenor e TeliaSonera compraram blocos de 2x10 MHz das frequências FDD, cada uma. O Reino Unido disponibilizará uma autorização nacional para serviços com alta taxas de transmissão na faixa de 2,6 GHz, através de licitação que deverá ocorrer em 2010. A empresa *British Telecom* deve ser a provável vencedora. Como o Reino Unido, a grande maioria dos países europeus deve licitar a faixa de 2,6 GHz no ano de 2010.

Estima-se que o continente europeu possuía 29,9% das redes de WiMAX em serviços, desenvolvimento ou planejamento e mais de 18,3% dos acessos no mundo a essa tecnologia, em Junho de 2009 [36].

d) Oriente Médio e Ásia

O padrão 802.16d também é o mais utilizado no Oriente Médio e o padrão 802.16e está em fase de testes, em alguns países, e implementação, em outros. Esses detalhes podem ser verificados na Figura 3.4.



Status das implementações
- 802.16e
- 802.16d
- Teste ou distribuição
- Planejamento
- Perspectiva de inauguração ou implementação em 2009

Fig. 3.4 - Principais operadoras BWA do Oriente Médio e África

Na região do Oriente Médio e África, as operadoras com mais assinantes são Pesco Telecom, MTN e ZAIN. A Pesco Telecom introduziu serviços WiMAX no Líbano, em 2004, com sistemas proprietários, baseados nas aplicações da Motorola. A empresa ZAIN obteve licença WiMAX para operações sem fio, com acessos fixos e nomádicos, no modo TDD.

Dados do Fórum WiMAX referentes a junho de 2009 estimam que 24,38 % das redes WiMAX em serviço, planejamento ou desenvolvimento e 16,57% dos acessos mundiais por WiMAX pertencem à África e ao Oriente Médio.

e) Ásia-Pacífico

A Figura 3.5 apresenta as principais operadoras BWA da região Ásia-Pacífico. Alguns países já têm redes concluídas, porém, muitos ainda estão em fase de desenvolvimento. A operadora com maior número de assinantes é a Korea Telecom.

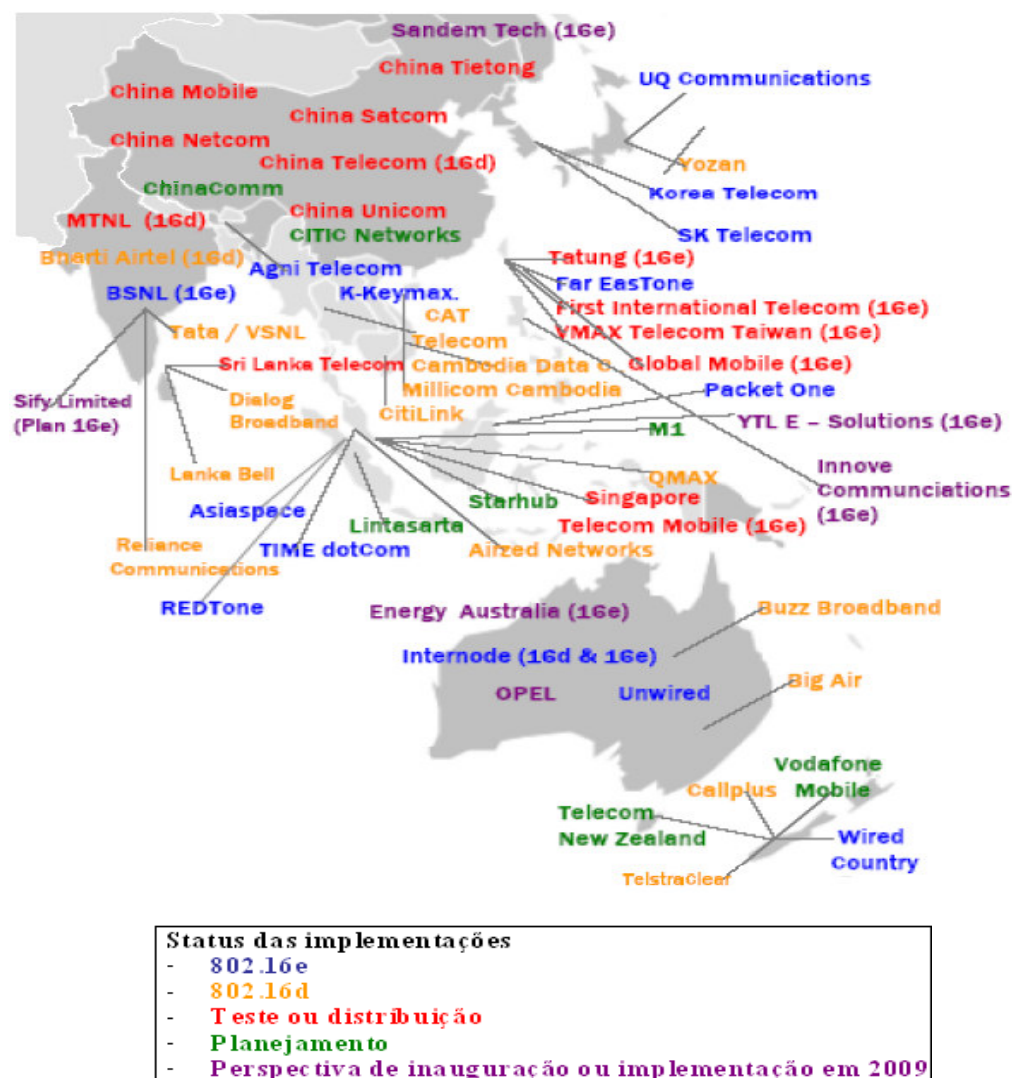


Fig. 3.5 - Principais operadoras BWA da região Ásia-Pacífico

Em 2008, a Índia propôs licitação para a faixa de 2,3 a 2,5 GHz, com blocos de 20 MHz, e também para blocos de 70 MHz entre 3,3 e 3,6 GHz, que serão destinados a WiMAX fixo e acesso sem fio em banda larga, nas regiões rurais.

Em janeiro de 2009, a agência reguladora chinesa *Office Telecommunications Authority* (OFTA) selecionou os candidatos qualificados para acesso BWA em seu país.

As ofertas cobriram a operação de redes WiMAX e a licitação propôs um total de 195 MHz para conexões sem fio com elevadas taxas de transmissão, onde 90 MHz são na faixa de 2,3 GHz e 105 MHz na faixa entre 2,5 GHz e 2,6 GHz. Os vencedores são autorizados a prestar serviços fixos, móveis de voz, serviços de dados ou, ainda, uma combinação de serviços.

Em Julho de 2009 a KDDI, a segunda maior operadora de telefonia celular do Japão, começou a oferecer conectividade sem fio WiMAX nas cidades de Tóquio, Nagoya, Osaka, Kyoto e Kobe com *download* de 40 Mbps.

A região Ásia-Pacífico possui 15,7% das redes e 47,19% de acessos da base mundial de WiMAX [36].

3.1.2 Distribuição das estações terrenas para serviços por satélite

As frequências entre 3,6 e 4,2 GHz (banda C) são atribuídas para o serviço fixo por satélite (FSS - *Fixed Satellite Service*) de acordo com a Regulamentação da UIT. A faixa de 3,7 a 4,2 GHz é conhecida como banca C convencional e é adotada por mais de 40 (quarenta) países para FSS. É amplamente utilizada por não apresentar significativa atenuação por chuva. Essa faixa é usada por estações de transmissão de rádio/TV, comunicações com altas velocidades de transmissão, VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) e identificação e *status* da posição de frotas de transporte por caminhão entre outros.

Nas áreas do mundo que sofrem com a intensidade de precipitação elevada, como as regiões equatoriais, as faixas de maiores frequências, bandas Ku e Ka, não oferecem a alta disponibilidade que muitos serviços satélites exigem e, consequentemente, estes devem utilizar a banda C, na medida do possível.

De acordo com [37], há mais de 160 (cento e sessenta) satélites geoestacionários que operam na banda C, atualmente, sem considerar os satélites que trabalham com enlaces alimentadores do serviço móvel de satélite (MSS – *Mobile Satellite Service*) ou em operações de telemetria.

A banda C é muito pouco usada por países europeus para serviços via satélites com antenas pequenas, como as utilizadas por transmissões direcionadas para casas, terminais VSAT para redes privadas. As estações terrenas são pouco numerosas e tendem a ser situadas com outros terminais da banda C em estações *gateways* principais.

Na Federação Russa, as faixas de 3,4 a 3,45 e 3,5 a 3,55 GHz são licenciadas para acesso fixo sem fio.

A Figura 3.6 mostra algumas estações terrenas na Região 1 da UIT, pela operadora *New Skies Satellites*, em 2006. Existiam, ainda, outras estações terrenas não mostradas, de diferentes operadores de satélites, ou que não são identificadas pelo órgão regulador.

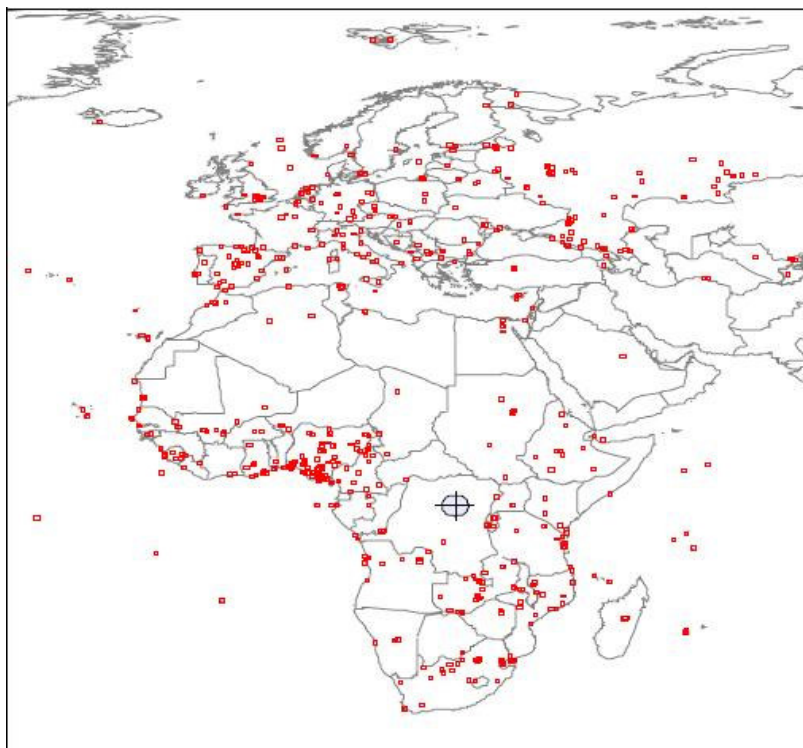


Fig. 3.6 - Estações terrenas na Região 1, 2006. Fonte: [37].

O Brasil destinou a faixa 3,4 a 3,6 GHz para serviços de acesso sem fio em banda larga e outros países da América do Sul, como a Venezuela, fizeram o mesmo.

Nos EUA, segundo [37], há operações em FSS na frequências de 3,6 a 4,2 GHz. Na porção de 3,65 a 3,7 GHz, operam as estações terrenas internacionais antigas da FCC. Somente a faixa 3,7 a 4,2 GHz é a usada para demais aplicações (VSAT, DTH, etc.). No Canadá, a faixa de 3,45 a 3,65 GHz é destinada para FWA (*Fixed Wirelles Access*), com grande uso para FSS em frequências acima de 3,7 GHz.

Em muitas partes da Ásia, os satélites fornecem a cobertura nacional e regional, sobre a faixa de 3,7 a 4,2 GHz, através de uma série de satélites tais como INSAT, APSTAR, Thaicom, ST, Telstar, Palapa, Yamal, etc...

No Vietnam, também segundo [37], as frequências entre 3,4 e 4,2 GHz são atribuídas ao serviço fixo por satélite, em uma base preliminar, e deverão ser usadas extensivamente, no futuro, para FSS e não serão permitidos sistemas de acesso sem fio em banda larga. Na Índia, as frequências entre 3,7 e 4,2 GHz são usadas extensivamente, pelo FSS, para inúmeras aplicações e o espectro para a tecnologia WiMAX estará disponível entre 3,3 e 3,7 GHz.

3.1.3 3G/HSPA

As tecnologias 3G podem ser implementadas em diferentes frequências dependendo, apenas, da disponibilidade comercial de terminais e equipamentos. Estas já estão amplamente difundidas nos Estados Unidos e Europa. As tecnologias WCDMA/HSPA estão hoje disponíveis, comercialmente, na faixa de 850 MHz e 2100 MHz. Futuramente, haverá disponibilidade de equipamentos nas faixas de 1800 MHz e 900 MHz. Por outro lado, as tecnologias CDMA2000/EV-DO estão implementadas em 850 MHz, 1800 MHz e 1900 MHz.

3.2 CENÁRIO INTERNO

Esse item trata o atual cenário das aplicações WiMAX, no Brasil, da distribuição das estações terrenas para serviços de satélite e dos sistemas de terceira geração celular.

3.2.1 WiMAX

Atualmente, temos poucas operadoras promovendo serviços WiMAX no Brasil, que são Embratel e Neovia, na faixa de 3,5 GHz; Neotec, na faixa de 2,5 GHz. Em 2003, ocorreu a primeira licitação da faixa de 3,5 GHz e as empresas que adquiriram blocos foram: Embratel, Brasil Telecom (Vant), Grupos Sinos, Neovia (DirectNet) e WKVE.

No Brasil, a reestruturação do espectro será feita para acomodar a 4G, principalmente na faixa de 2,5 GHz, por ter sido destinada à quarta geração de sistemas celulares pela UIT e está em uso, atualmente, por operadoras MMDS. Na renovação de

outorgas para MMDS, ocorrida em 2009, foi verificado em Consulta Pública pelas empresas que uma parte de sua faixa de frequência até o ano de 2012 para a 4G. Exemplos de operadoras de MMDS são Acom, Editora Diario Amazonia, Geral, GTV, J&J TV, Lig TV, Mais TV, MVA TV, Net Serviços, Ribas & Busnadiego, Sercomtel, Smepr, Super Imais, Super Tv, TV Cabo SP, Tv Mais, Tv Show, TVA e Via Max.

Em maio de 2005, em parceria com a Samsung, a TVA anunciou um investimento de US\$ 1.000.000,00 (um milhão de dólares), nos cinco anos seguintes, para promover serviços com acesso em banda larga com sistemas WiMAX, a um total estimado de um milhão de usuários sob a marca Ajato. O projeto previa a implementação de uma rede de acesso sem fio em banda larga, baseada no padrão IEEE 802.16e e operando em 2,5 GHz, que permitiria o fornecimento de um serviço de multimídia com mobilidade e portabilidade. Em 2006, em Curitiba, ocorreu o primeiro teste comercial da TVA com esse padrão, e permitiu acessos a taxas de 3 Mbps, mesmo em movimento, até 120 km/h e configurou a primeira etapa para que a empresa passe a usar a sua frequência de MMDS, também em serviços de acesso à *internet* de banda larga, e não apenas para canais de TV. Durante o período de experiência, foram testadas transmissão de dados, vídeos em *streaming**, jogos e serviço de voz. Atualmente, o serviço em banda larga através da tecnologia WiMAX da TVA está em processo de desenvolvimento [33], e poderá ser disponibilizado no Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba e Porto Alegre. A aposta futura é oferecer conteúdo de TV para terminais móveis [34].

O primeiro movimento da Telefônica foi iniciar um projeto piloto WiMAX para o mercado corporativo, em outubro de 2004, na faixa de frequência de 3,5 GHz, na cidade de Campinas, perto de São Paulo, com dez corporações. A Anatel aprovou o uso dessa frequência para testes. Entre os clientes corporativos foram selecionados grandes bancos, universidades, hotéis e empresas de porte para testar essa tecnologia de última milha. O investimento neste teste atingiu R\$ 1.000.000,00 (um milhão de reais). O projeto piloto estendeu-se até julho de 2005, quando a Telefônica ainda teve a chance de testar a tecnologia WiMAX na frequência de 5,8 GHz. A Telefônica tem planos de implementar uma rede, baseada na tecnologia WiMAX, para complementar a sua rede de acesso em banda larga, que utiliza tecnologias ADSL e Wi-Fi. Também planeja utilizá-la para ter acesso em áreas das outras operadoras de telefonia fixa, como Grupo Oi / Brasil Telecom.

Em 2006, a aquisição da TVA, pela Telefônica, foi confirmada. O negócio envolveu todas as operações de MMDS nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba e Porto Alegre, além de 100% das ações preferenciais e parte das ações ordinárias das operações de TV a cabo em São Paulo, Curitiba, Florianópolis e Foz do Iguaçu, nos limites de participação permitidos pela legislação. Em 2008, a Telefônica obteve a autorização da Anatel para testar a tecnologia WiMAX, em São Paulo, por três meses, com velocidade de 2 Mbps para *download* e 600Kbps para *upload*, utilizando a frequência de 2,5 GHz. De acordo com [33], o padrão usado é o IEEE 802.16d.

Também em março de 2008, a Embratel anunciou, oficialmente, o lançamento de serviço de banda larga, com tecnologia WiMAX, em doze capitais: Belém, Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Fortaleza, Goiânia, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís e São Paulo. A Embratel adquiriu outorga para operar nas faixas de frequências de 3,5 GHz (3450 - 3500 MHz / 3550 - 3600 MHz) e 10,5 GHz (10182 - 10294 MHz / 10532 - 10644 MHz) para aplicações ponto-multiponto. Como resultado da licitação na faixa de 3,5 GHz, a Embratel obteve dois canais de 10,5 MHz em todo território nacional, além de mais dois canais de 7 MHz para a área de numeração SP1 (São Paulo) e para a área de numeração RJ1 (Rio de Janeiro). Assim, a Embratel adquiriu 21 MHz para todas as localidades do território nacional e 35 MHz para São Paulo e Rio de Janeiro. Segundo a Embratel, seus investimentos em WiMAX somaram R\$ 175.000.000,00 (cento e setenta e cinco milhões de reais) nessa primeira fase. Primeiramente, teve como mercado alvo empresas de pequeno e médio porte. Sua rede foi, posteriormente, implantada em outras sessenta e uma cidades, permitindo expansão para mais duzentas cidades, e opera em 3,5 GHz. Ao todo, a Embratel instalou mil e dezoito estações rádio base para fornecer o sinal de acesso sem fio. De acordo com [33], a rede do Rio de Janeiro utiliza o padrão IEEE 802.16d e equipamentos Alcatel-Lucent e Alvarion. Em outros locais utiliza o padrão IEEE 802.16e e equipamentos Motorola. Atualmente, a Embratel oferece serviço de acesso em banda larga WiMAX para pessoas jurídicas e físicas [35], empresas e residências. A operadora foca a sua oferta aonde a *internet* a cabo não chega ou em locais com condições desfavoráveis para a infraestrutura de cabos, como ocorre em prédios muito antigos. Para a Embratel, as tecnologias 3G e WiMAX são tecnologias complementares, apesar de ambas terem o mesmo fim, de possibilitar o fornecimento de taxas elevadas de transmissão, no entanto, com diferentes especificações. A capacidade de *download* e *upload* da 3G possui bom

desempenho para o uso pessoal, mas não poderia suportar transações de empresas o tempo todo.

A operadora de telefonia fixa e móvel Brasil Telecom (BrT) também possui outorgas de autorização de uso nas faixas de 3,5 GHz e 10,5 GHz em algumas localidades. Segundo [33], a BrT está operando sua rede com padrão IEEE 802.16d e equipamentos da Alcatel-Lucent. Em julho de 2009, a BrT foi adquirida pelo Grupo Oi, que não possuía faixa com outorga de autorização na faixa de frequências utilizada por sistemas WiMAX. Em 2005, a Oi conduziu um Projeto Piloto entre novembro e dezembro, com equipamentos da *Aperto Networks*, visando testar as funcionalidades da tecnologia bem como a interface com outras ofertas de serviços, principalmente, o ADSL e o *Triple Play*, que também estavam em fase de Projeto Piloto. Os testes da Oi foram efetuados na faixa de frequência de 3,5 GHz, com autorização da Anatel.

Em 2003, a Neovia venceu a licitação, feita pela Agência Nacional das Telecomunicações, para o uso da frequência de 3,5 GHz, no estado de São Paulo. Os serviços de WiMAX, propostos pela Neovia, são baseados no padrão IEEE 802.16d [33]. Outro fator limitante é o contrato para um número mínimo de vinte e cinco pessoas. Os planos da Neovia são exclusivamente para condomínios.

A Neovia possui, atualmente, uma rede totalmente baseada em tecnologia IP sem fio e é pioneira na oferta comercial da tecnologia WiMAX. Seu foco é o mercado de transmissão de dados, corporativo e residencial, com operação através de rede própria. Possui, também, a maior área de cobertura no Estado de São Paulo, incluindo cinquenta e dois municípios, na Grande São Paulo e nas regiões metropolitanas de São José dos Campos, Campinas, Sorocaba e Ribeirão Preto, devido à aquisição do controle da Directnet em 2005. Atualmente, a empresa possui uma base de trinta e cinco mil assinantes e cinco mil pontos de presença no Estado de São Paulo, nas regiões metropolitanas indicadas. Anterior à aquisição, a Neovia concentrava-se na Grande São Paulo e nos clientes corporativos e a DirectNet atuava no interior, oferecendo acesso sem fio a residências. Os serviços oferecidos são de acesso à *internet* de banda larga, VPN/IP, conexões dedicadas, serviços de valor agregado, VoIP e projetos especiais. Embora a companhia ofereça, atualmente, serviços de WiMAX fixo, prevê investimentos para os futuros serviços móveis. A operadora Neovia anunciou, em janeiro de 2008, o fechamento de um novo ciclo de financiamento. A companhia não divulgou o montante total do capital necessário. Segundo um comunicado de imprensa

da Agência Estado, a Neovia se prepara para melhorar sua rede a fim de oferecer serviços móveis. A empresa espera também adquirir novas autorizações na próxima licitação, o que permitirá a expansão da rede para cobertura das áreas do Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Curitiba. Também em 2008, a Neovia fez uma série de testes com o WiMAX móvel no qual foram analisados o desempenho de vários fornecedores. Estes testes serviram como validação da tecnologia e dos fornecedores e ajudará nos processos de Requisição de Informação (RFI* - *Request for Information*) e Propostas (RFP - *Request for Proposal*) que estão planejados para depois da próxima licitação da faixa de 3,5 GHz.

Além da Embratel, Neovia e Brasil Telecom, o Grupo Sinos e a empresa de telefonia WKVE também têm autorização de operação na faixa de 3,5 GHz. O Grupo Sinos opera no Rio Grande do Sul e a WKVE, em Governador Valadares (MG), ambas as empresas utilizando o padrão IEEE 802.16d [33]. Adicionalmente, cumpre informar a existência de companhias que têm usado a tecnologia WiMAX internamente, para interconectar suas unidades. O Bradesco, por exemplo, fez um projeto inicial com três agências em 2007, que foram interligadas à sede do banco, em Osasco, na Grande São Paulo. O resultado foi positivo, e outras quatorze agências empregam essa tecnologia para se comunicarem com os computadores centrais da instituição financeira. Além do Bradesco, Votorantim, Grendene, Petrobrás Distribuidora e Casas Bahia são outros exemplos de empresas adeptas da tecnologia WiMAX. A rede sem fio da Casas Bahia funciona como uma rede de redundância para a comunicação entre os escritórios e a fábrica de móveis da empresa em São Caetano do Sul.

O setor público também conta com projetos adiantados, como o da Prefeitura de Belo Horizonte, que interligou parte de suas secretarias usando essa tecnologia. Na vertente da inclusão digital aparece o projeto de Parintins, município localizado à beira do rio Amazonas, onde a tecnologia WiMAX permite altas velocidades de transmissão à prefeitura, às escolas e aos centros de saúde. Também permite oferecer acesso público gratuito à *internet*, por meio de uma rede Wi-Fi instalada em uma praça.

3.2.2 Distribuição das estações terrenas para serviços por satélite

Na América do Sul, o Brasil exemplifica o uso da banda C para comunicações de satélites domésticos e faz uso extensivo da faixa de 3,625 a 4,2 GHz, para evitar o desvanecimento severo provocado pelas chuvas nas maiores frequências, que é uma característica de regiões tropicais. Essa faixa é usada para aplicações de Redes VSAT, enlaces ponto-a-ponto e ponto-multiponto, recolhimento de notícias via satélite, retransmissão de TV, receptores diretos (DTH - *Direct to home*) com a estação terrena usando uma mistura de antenas de pequenos, médios e grandes diâmetros. Em áreas remotas, a única forma de uma comunicação é por conexão via satélite. Mesmo em regiões povoadas, as comunicações por satélite são usadas extensivamente. Em particular, a banda C estendida de 3,625 a 3,7 GHz não é compartilhada com o serviço fixo no Brasil sendo utilizada por aplicações com terminais múltiplos tais como VSAT.

A Figura 3.7 mostra um mapa do Brasil de 2006, com a distribuição das estações terrenas, empregando frequências de 3,625 a 4,2 GHz. Existiam mais de oito mil estações terrenas para um satélite brasileiro, doze mil estações terrenas direcionadas para cada satélite internacional que cobria a área do Brasil, igual número de estações terrenas operando entre 3,625 e 3,7 GHz e vinte milhões de receptores de TV, espalhados por todo país.

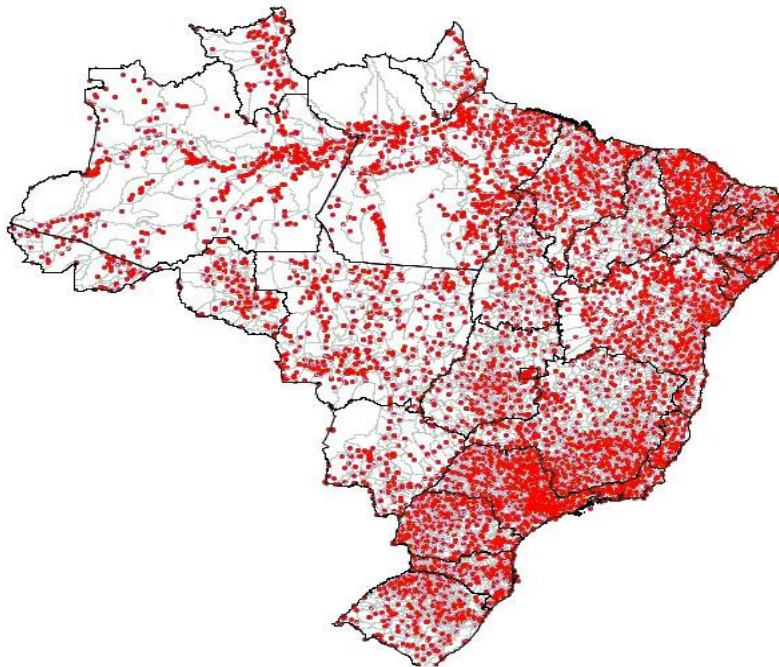


Fig. 3.7 – Estações Terrenas distribuídas pelo Brasil, 2006. Fonte: [37].

3.2.3 3G

Dados da Anatel sobre o número de Acessos Móveis, por Tecnologia, revelam um forte ritmo de adesão à tecnologia de terceira geração WCDMA/HSPA no país. O órgão regulador brasileiro disponibiliza essas informações mensalmente, desde 2008, que em junho iniciou a publicação dos dados referentes a WCDMA e em julho, os dados relacionados a CDMA 2000. Assim, em julho de 2008, ocorreram 775.938 (setecentos e setenta e cinco mil e novecentos e trinta e oito) acessos por WCDMA, ou 0,573% do *ranking* das tecnologias existentes no Brasil. No total, a 3G obteve 1.315.000 (um milhão e trezentos e quinze mil) de usuários no país. Em agosto, as tecnologias de terceira geração responderam por 974.901 (novecentos e setenta e quatro mil e novecentos e um) acessos por tecnologia WCDMA (0,704%), e 517.209 (quinhentos e dezessete mil e duzentos e nove) por CDMA 2000 (0,374%) ofertado pela Vivo, o que significa um total de 1.492.000 (um milhão e quatrocentos e noventa e dois mil) de assinantes. Com 3.089.919 (três milhões e oitenta e nove mil e novecentos e dezenove) de novas habilitações (crescimento de 2,28%), o mês de agosto de 2009 registrou o quinto maior número de habilitações, desde a implementação da telefonia celular no Brasil, atrás apenas dos meses de dezembro de 2007 com 4.666.276 (quatro milhões e seiscentos e sessenta e seis mil e duzentos e setenta e seis) habilitações, de 2004 com 4.416.843 (quatro milhões e quatrocentos e dezesseis mil e oitocentos e quarenta e três), de 2005 com 3.858.692 (três milhões e oitocentos e cinquenta e oito mil e seiscentos e noventa e dois) e de 2003 de 3.362.635 (três milhões e trezentos e sessenta e dois mil e seiscentos e trinta e cinco) habilitações. Em setembro, o número de assinantes CDMA 2000 caiu em relação ao mês de julho - o serviço perdeu 33.990 (trinta e três mil e novecentos e noventa) assinantes. A 3G obteve 1.952.000 (um milhão e novecentos e cinquenta e dois mil) de acessos, o que significou um aumento de 32,64% em relação mês de julho do mesmo ano.

A operadora Vivo (Telemig Celular) e Claro iniciaram a oferta de serviços com tecnologia 3G em novembro de 2007, utilizando frequências de 850 MHz, e em 2008 passaram a operar nas frequências de 1,9 e 2,1 GHz, com a assinatura dos termos de autorização. Praticamente, todas as operadoras de celular do Brasil já possuíam redes 3G a partir de maio de 2008. Em 12 (doze) meses de operação, os sistemas 3G já estão presentes em 568 (quinhentos e sessenta e oito) municípios, atendendo a 61,8% da

população. Nesse contexto, a Vivo e Claro lideraram em cobertura atendendo a 54% da população contra 40% da Oi/BrT e 26% da Tim.

Em março de 2009, cerca de 3% da base de celulares do Brasil eram 3G e desses, 68% dos celulares 3G eram terminais de dados. A Oi/BrT possuía 191.000 (cento e noventa e um mil) acessos móvel com altas taxas de transmissão (modems e aparelhos), cerca de 4% do total Brasil. As adições líquidas no primeiro trimestre de 2009 foram de setenta mil acessos. Em abril de 2009, o serviço disponível atendia 96 (noventa e seis) municípios, o que significa 30,5% da população.

As estratégias adotadas para oferecer serviços com altas velocidades de transmissão são diferentes entre as operadoras. A Vivo e a Oi oferecem pacotes, cuja tarifa varia com o tráfego incluído; Claro e BrT apresentam pacotes cujas mensalidades variam com a velocidade. A TIM oferece uma variação dos dois modelos de planos.

Inicialmente, a 3G estava sendo mais utilizada por modems de acesso móvel com altas taxas de transmissão. Atualmente, a número de celulares com aparelhos WCDMA também tem crescido. Em abril de 2009, houve um aumento de 16,4%, com adições líquidas de duzentos e dois mil celulares, enquanto que os terminais de dados apresentaram adições líquidas de cento e trinta e nove mil dispositivos (4,4%). Segundo dados da Anatel, os dispositivos 3G que incluem aparelhos celulares e terminais de dados, somavam quatro milhões novecentos mil no mesmo mês. A Anatel/Operadoras promoveu uma reclassificação dos terminais de dados em março de 2009, o que não permite fazer esta análise para os meses anteriores.

Existem 98 (noventa e oito) modelos de telefones celulares WCDMA, homologados pela Anatel, para operação no Brasil. Destes, 71 (setenta e um) são HSDPA. Além disto, ainda existem sessenta módulos (equipamentos que são acoplados a um sistema que disponibiliza as funções necessárias) HSDPA e um total de 131 (cento e trinta e um) dispositivos HSDPA estão homologados para serem utilizados no Brasil, que representa menos de 10% dos 1.470 (mil quatrocentos e setenta) existentes no mundo.

4 FAIXAS DE RADIOFREQUÊNCIAS PARA WIMAX

O uso simultâneo de uma mesma faixa de frequências do espectro radioelétrico, em uma mesma área, pode distorcer ou impossibilitar a recepção da informação transmitida. Este fato exigiu que fossem estabelecidos organismos encarregados de administrar o espectro, autorizando usuários a transmitir em uma determinada frequência em uma dada região. Esta função é desempenhada pela UIT, em âmbito internacional, e por órgãos reguladores nacionais, como a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), no Brasil. Existem ainda órgãos regionais que participam deste processo como a Comissão Interamericana de Telecomunicações (CITEL) nas Américas.

A atribuição de frequências é o processo pelo qual a UIT identifica uma faixa de frequências como apropriada para um determinado serviço de radiocomunicação, em particular. As atribuições são decididas nas Conferências Mundiais de Radiocomunicações (WRC - *World Radiocommunication Conferences*), registradas na tabela de atribuição de frequência dos Regulamentos de Radiocomunicações da UIT e, uma vez adotadas estas atribuições, devem ser seguidas pelos países membros.

Um dos focos para a próxima WRC, que será realizada em 2012, estará nas faixas de frequências atribuídas para acesso sem fio em faixa de necessidade de mercado.

Este capítulo apresenta as modalidades de serviços do órgão regulador brasileiro e faixas de espectro radioelétrico onde é possível a aplicação da tecnologia WiMAX.

4.1 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES

A Agência Nacional de Telecomunicações foi criada, em novembro de 1997, para viabilizar as telecomunicações brasileiras e para exercer, entre outras, as atribuições de outorgar, regulamentar e fiscalizar esse importante setor de infraestrutura.

Conforme a Lei Geral de Telecomunicações (LGT) - a Lei nº 9.472/1997 - o órgão regulador brasileiro é uma autarquia administrativamente independente, vinculada ao Ministério das Comunicações, e não se subordinam hierarquicamente a nenhum órgão do Governo ou aos poderes políticos. Seu processo decisório caracteriza-se como última instância administrativa e suas decisões só podem ser contestadas judicialmente. A composição colegiada da direção superior da instituição favorece a transparência, a tomada de decisões por seus membros e evita personalismos.

A missão da Anatel é promover o desenvolvimento das telecomunicações do País de modo a dotá-lo de uma moderna e eficiente infra-estrutura de telecomunicações, capaz de oferecer serviços adequados à sociedade, diversificados e a preços justos, em todo o território nacional [18].

Os serviços de telecomunicações estão divididos em modalidades, de acordo com suas características. Dentre eles, tem-se: Serviço de Telefonia Fixa Comutado (STFC), Serviço Móvel Pessoal (SMP), Serviço de Comunicação Multimídia (SCM), Serviço Limitado, Satélite, TV por Assinatura, Serviços de Distribuição de Sinais Multiponto e Multicanal (MMDS).

Para fazer uso de radiofrequências, no Brasil, é necessário passar pelas etapas de autorização ou concessão da Anatel para prestação do serviço de telecomunicações, autorização para uso da radiofrequência, licenciamento da estação e utilização de equipamentos com certificação aceita ou homologada pela Anatel. Compete à Anatel, também, a fiscalização do uso de radiofrequências brasileiras, estando sujeito a penalidades administrativas e criminais o uso não autorizado.

O uso de radiofrequências por equipamentos de radiação restrita e aplicações com fins industriais, científicos e médicos, não está sujeito às três primeiras etapas. Contudo, estes equipamentos devem ter certificado expedido ou aceito pela Anatel, de acordo com o Regulamento para Certificação e Homologação de Produtos de Comunicação [19] e o Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita [20].

A seguir são apresentadas e comentadas as modalidades de serviços SCM, SMP e MMDS.

4.1.1 Serviço de Comunicação Multimídia

O Serviço de Comunicação Multimídia é um serviço fixo de telecomunicações de interesse coletivo, prestado em âmbito nacional e internacional, no regime privado, que possibilita a oferta de capacidade de transmissão, emissão e recepção de informações multimídia (símbolos, caracteres, sinais, escritos, imagens, sons ou informações de qualquer natureza), utilizando quaisquer meios, a assinantes dentro de uma área de prestação de serviço que pode ser em todo o território nacional.

O Serviço de Comunicação Multimídia deve ser explorado nas condições previstas no Regulamento do Serviço de Comunicação Multimídia [21], e o Regulamento dos Serviços de Telecomunicações [22]. Para as empresas que utilizam equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita, as autorizadas deverão operar em conformidade com o Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita [20].

A autorização do SCM, entretanto, não pode ser utilizada como suporte para exploração do Serviço Telefônico Fixo Comutado, destinado ao uso do público em geral, e dos serviços de comunicação eletrônica de massa, tais como o Serviço de Radiodifusão, o Serviço de TV a Cabo, o Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal e o Serviço de Distribuição de Sinais de Televisão e de Áudio por Assinatura via Satélite (DTH), de acordo com [23].

É assegurado aos interessados o uso das redes de suporte do SCM para provimento de serviços de valor adicionado (SVA), de forma não discriminatória e a preços e condições justas e razoáveis.

A faixa de frequências deve estar atribuída ao SCM, sendo disposta por compartilhamento em caráter primário ou secundário, e de uso autorizado pela Anatel, se não implicar em interferência prejudicial nem impuser limitação à prestação desse serviço aos demais operando em caráter primário.

Para oferecer serviço de comunicação multimídia com acesso fixo operando em frequências que necessitam de autorização de uso, as empresas precisam ter outorgas de serviço e estações licenciadas. O uso de faixas isentas de outorgas, está condicionado a equipamentos que estejam de acordo com o Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita [20]. As empresas que pretendem oferecer serviços de acesso fixos através da tecnologia WiMAX se enquadram na primeira ou segunda situação.

4.1.2 Serviço Móvel Pessoal

O Serviço Móvel Pessoal, abreviado por SMP, é o serviço de telecomunicações móvel terrestre de interesse coletivo, prestado em regime privado, que possibilita a comunicação entre estações móveis e dessas para outras estações. É caracterizado por possibilitar a comunicação entre estações de uma mesma área de registro do SMP ou acesso a redes de telecomunicações de interesse coletivo.

O Serviço Móvel Pessoal deve ser explorado nas condições previstas no Regulamento do Serviço Móvel Pessoal [24] e no Regulamento dos Serviços de Telecomunicações [22]. Os equipamentos usados devem estar em conformidade com o Regulamento para Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações [19].

As redes de telecomunicações e plataformas associadas ao SMP devem fazer uso de tecnologias e sistemas, cujas estruturas de sincronismo, sinalização, numeração, comutação e encaminhamento, entre outras, possam prover convergência com rede de RTPC, observado o disposto na regulamentação.

As faixas de frequências de 800 MHz, 900 MHz, 1,8 GHz e 2,1 GHz estão destinadas ao Serviço Móvel Pessoal, conforme [25]. As faixas de radiofrequências, contidas na Tabela 4.1, são destinadas para prestação do SMP, em caráter primário e de forma não exclusiva, restrita à respectiva Área de Prestação.

	Transmissão da Estação Móvel (MHz)	Transmissão da Estação Rádio Base (MHz)
Subfaixa A	824 a 835	869 a 880
	845 a 846,5	890 a 891,5
Subfaixa B	835 a 845	880 a 890
	846,5 a 849	891,5 a 894
Subfaixa D	910 a 912,5	955 a 957,5
	1710 a 1725	1.805 a 1.820
Subfaixa E	912,5 a 915	957,5 a 960
	1.740 a 1.755	1.835 a 1.850
Subfaixa F	1.920 a 1.935	2.110 a 2.125
Subfaixa G	1.935 a 1.945	2.125 a 2.135
Subfaixa H	1.945 a 1.955	2.135 a 2.145
Subfaixa I	1.955 a 1.965	2.145 a 2.155
Subfaixa J	1.965 a 1.975	2.155 a 2.165
Subfaixa L	1.895 a 1.900	1.975 a 1.980
Subfaixa M	1.755 a 1.765	1.850 a 1.860
Subfaixa de Extensão	898,5 a 901	943,5 a 946
	907,5 a 910	952,5 a 955
	1.725 a 1.727,5	1.820 a 1.822,5
	1.727,5 a 1.730	1.822,5 a 1.825
	1.730 a 1.732,5	1.825 a 1.827,5
	1.732,5 a 1.735	1.827,5 a 1.830
	1.735 a 1.737,5	1.830 a 1.832,5
	1.737,5 a 1.740	1.832,5 a 1.835
	1.765 a 1.770	1.860 a 1.865
	1.770 a 1.775	1.865 a 1.870
	1.775 a 1.777,5	1.870 a 1.872,5
	1.777,5 a 1.780	1.872,5 a 1.875
	1.780 a 1.782,5	1.875 a 1.877,5
	1.782,5 a 1.785	1.877,5 a 1.880
	1.885 a 1.890	
	1.890 a 1.895	

Tab. 4.1– Faixas de radiofrequências do SMP

A eventual necessidade de faixa de guarda entre o SMP e outras aplicações em faixas de frequências adjacentes deverá ser considerada dentro da faixa autorizada para o SMP. A Anatel poderá autorizar o uso das radiofrequências da Tabela 4.1 a aplicações de outros serviços, desde que estes não imponham limitação à prestação do SMP. A potência entregue pelo transmissor à antena de uma estação deve ser a mínima necessária à realização do serviço, com boa qualidade e adequada confiabilidade.

Empresas que pretendem oferecer serviço de acesso com mobilidade ou portabilidade através da tecnologia WiMAX, precisam da outorga de SMP.

4.1.3 Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal

Serviço MMDS é uma das modalidades de Serviços Especiais, regulamentados pelo Decreto no 2.196, de 8 de abril de 1997, que se utiliza da faixa de microondas para transmitir sinais a serem recebidos em pontos determinados dentro da área de prestação do serviço. Os sinais a serem transmitidos poderão estar associados a qualquer forma de telecomunicação tecnicamente disponível [26].

A permissionária de MMDS poderá, dentre outros, transmitir sinais ou programas originados por terceiros, programas originados por terceiros e por ela editados, e transmitir sinais ou programas por ela gerados; veicular publicidade comercial e cobrar remuneração (assinatura) pela prestação do serviço.

A fim de possibilitar a recepção dos sinais do Serviço MMDS pelos receptores domésticos, deverão ser utilizados como um passo intermediário conversores de frequência da faixa de microondas para as de VHF e UHF.

A autorização para a prestação do Serviço MMDS é outorgada pelo prazo de quinze anos, prorrogável conforme condições estabelecidas em contrato de adesão.

A Resolução N.º 429 de 2006 [27] mantém a destinação das faixas de radiofrequências de 2.170 MHz a 2.182 MHz e 2.500 MHz a 2.690 MHz para o MMDS, para uso em caráter primário e sem exclusividade. Outros detalhes dessa Resolução serão abordados no item 4.2.2.

As concessionárias MMDS pelo fato de possuírem autorização de uso da faixa de 2,5 GHz, podem utilizar a tecnologia WiMAX para comunicações via rádio. Para poderem oferecer serviços de comunicações multimídia (símbolos, caracteres, sinais, escritos, imagens, sons ou informações de qualquer natureza), é necessário possuírem outorgas de SCM.

4.2 ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS NO BRASIL

A parte do espectro brasileiro destinado à mobilidade caminha para a saturação com problemas que afetam a qualidade dos serviços, além da possibilidade de congestionamento. Dessa forma, é preciso disponibilizar mais radiofrequência de modo a ampliar acessos, através de diversas tecnologias e serviços.

As faixas de 700 MHz, 2,5GHz e 3,5GHz são aquelas em que são capazes de serem submetidas a modificações, como será apresentado.

De acordo com o posicionamento da Superintendência de Radiofrequência de Fiscalização da Anatel, numa projeção do Plano Geral de Atualização da Regulamentação das Telecomunicações (PGR), haverá, em 2018, duzentos e setenta milhões de acessos no SMP, dos quais cento e vinte e cinco milhões de usuários com acesso móvel com altas velocidades de transmissão. Em curto prazo, o PGR diz que é preciso dispor de radiofrequência para oferecer acessos em banda larga em todo o país e atender às previsões da própria Anatel que precisa deixar o espectro regulamentado para, pelo menos, dez anos. Os interesses são múltiplos. O direito ao uso do espectro, que é um bem público, é constitucional e, por isso, de todos.

As licitações da banda H e da cobiçada faixa de 3,4 a 3,6 GHz, e o rearranjo da subfaixa de 2,5 GHz, cuja Consulta Pública foi finalizada em Outubro de 2009, é um grande incentivo para operadoras e fabricantes interessados em produtos, serviços, e equipamentos para acesso sem fio em banda larga. Outra iniciativa que, indiretamente, incentiva o WiMAX é a consulta pública e regulamentação da operadora móvel com rede virtual, que alugam capacidade das operadoras de SMP (MVNO - *Mobile Virtual Network Operator*). A Anatel também deve regulamentar a numeração para as empresas de SCM.

Existe diferentes possibilidades de definição de espectro para o WiMAX devido aos seus vários tipos de perfis de uso, adaptáveis a faixas mais altas ou mais baixas. São os perfis de uso que definem os canais de transmissão, aumentando sua capacidade. Até o momento, os perfis de uso de WiMAX se encaixam nas faixas de 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,5 GHz, 5,8 GHz e 10 GHz; e, recentemente, na faixa de 700 MHz. Porém, é o modelo de negócios que identifica a melhor aplicação, pois não há como afirmar que uma faixa de radiofrequências é melhor do que outra.

A seguir são apresentados detalhes dessas faixas de radiofrequências.

4.2.1 Faixa abaixo de 1 GHz

O primeiro objetivo da tecnologia WiMAX era oferecer maior largura de faixa. Por esse motivo, sistemas para as faixas de frequências mais altas foram primeiramente desenvolvidos apesar da maior atenuação de propagação. Com a evolução da

tecnologia, a necessidade de novas opções de frequência e a vantagem de propagação das faixas de UHF e VHF para áreas rurais e/ou de baixa densidade demográfica, as faixas abaixo de 1 GHz passaram a ser cobiçadas pelos fabricantes de sistemas BWA e provedores de serviços.

A faixa de 700 MHz está por ser adotada pelo Fórum WiMAX, cujos perfis possuem canais de 6 MHz e podem ser adequados para 5 MHz e 10 MHz. Alguns fabricantes já propuseram novas faixas de operação para sistemas WiMAX em frequências entre 400 e 800 MHz, para ambos os padrões 802.16-2004 e 802.16e.

Nos EUA, em função do processo de extinção da TV analógica, decidiu-se por um nova licitação do restante da faixa de 700 MHz. No Brasil, essa faixa está dedicada aos radiodifusores para TV digital. A proposta de destiná-la a serviços de acesso sem fio em banda larga, com transmissão de dados, ainda encontra muita resistência. Não só da parte dos radiodifusores que possuem concessão dessa faixa, mas do próprio Ministério das Comunicações, que não pretende modificá-la antes de 2015, quando deverá estar consolidado o mercado brasileiro de TV digital. Assim, a faixa de 700 MHz é proposta como uma possível faixa de frequências para o WiMAX em médio prazo.

Há, também, o interesse por implementações futuras em outras faixas inferiores ao 1 GHz, nas faixas de 230 e 460 MHz. A primeira está disposta para atendimento do Serviço Limitado Privado (SLP) e a segunda está destinada, de acordo com [32], em sub-faixas para Serviço Auxiliar de Rádio e Correlatos (SARC), Especial de Supervisão e Controle, Limitado Móvel Privativo (SLMP) e Limitado Móvel Especializado (SME), Limitado Privado (SLP) para Estações Itinerantes e Infra-estrutura Aeroportuária, Limitado Privado de Radiochamada (SLPR) e Especial de Radiochamada (SER), Móvel Marítimo (SMM), Radiação Restrita, Radiotáxi Privado (SRT) e Radiotáxi Especializado (SRE) e outros Serviços de Telecomunicações (observada a atribuição da faixa).

Na faixa de 1 GHz concentra-se o interesse para projetos de inclusão digital pelas Prefeituras, porém, há casos exclusivos tanto em São Paulo quanto no interior do país. Há, também, exemplos de contratos da Fundação CPqD (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento) com as áreas de energia, como Furnas, petróleo e gás, que utilizam faixas nas bandas de UHF e VHF para aplicações de transmissão de dados em alta velocidade. São sistemas com modelo de negócios de rede com conexão em banda larga, para pequenos grupos, aplicado a um projeto de menor custo, que exige um

número menor de estações rádio base e que atinjam a maior área possível. E, ainda, o uso de redes *ad-hoc* por cooperativas agrícolas. Este é o tipo de rede que não exige um novo negócio e pode ser rentável.

Em 2009, ocorreu Consulta Pública da faixa de 450 a 470 MHz, que destina duas subfaixas de 451 a 458 MHz e de 461 a 468 MHz ao SMP em caráter primário e sem exclusividade e, ao STFC, SLP e SCM em caráter secundário, entre outras. Também houve a Consulta Pública da faixa de 225 a 270 MHz, que mantém sua destinação ao SLP, em caráter primário e sem exclusividade. Destina-se, adicionalmente, ao Serviço Limitado Especializado (SLE), também em caráter primário e sem exclusividade.

4.2.2 Faixa de 2,3 GHz a 2,5 GHz

A faixa de 2,3 a 2,5 GHz está destinada ao Serviço Auxiliar de Radiodifusão e Correlatos e de Repetição de Televisão (RpTV) [28], em caráter primário. A faixa de 2,4 a 2,5 GHz está, adicionalmente, destinada a serviços SCM e SLP, conforme [29] e [30], e a faixa de 2.400 a 2 483,5 MHz está destinada aplicações com radiação restrita [20], em caráter secundário.

A faixa de 2,5 GHz foi legada às MMDS pela necessidade de disseminação do sinal de TV paga, que não chegava a determinadas áreas, ou seja, as operadoras de MMDS receberam o espectro para repetirem o sinal e permitir o acesso da TV paga em várias localidades aonde o cabo não chegava a contento, em um modelo de negócios que permitia a venda de publicidade. A tecnologia analógica foi adotada na época e, como consumia muito espectro, as operadoras de MMDS receberam 190 MHz para prestarem o serviço. Após essa concessão, os concessionários das faixas investiram em tecnologia digital. Esta digitalização da tecnologia de radiodifusão e uma série de novas capacidades de compressão de dados reduzem a necessidade de espectro para as transmissões de TV por parte das MMDS, porém, o uso de tecnologia digital, seja por salto de frequência ou por espalhamento espectral, aumenta a necessidade de uso de faixa de guarda.

Em 2006, a Anatel publicou a Resolução nº 429, aprovando o Regulamento sobre condições de uso de radiofrequências nas faixas de 2.170 MHz a 2.182 MHz e de 2.500 MHz a 2.690 MHz. Esse regulamento destaca a manutenção da destinação das

faixas de 2.500 a 2.690 MHz e de 2.170 a 2.182 MHz para o MMDS, em caráter primário; a destinação de 110 MHz, em caráter primário, nas faixas de 2.500 a 2.530 MHz e de 2.570 a 2.650 MHz para prestação do SCM; e limita ao uso das faixas de 2.500 a 2.530 MHz e de 2.570 a 2.650 MHz para novas outorgas de MMDS, utilizando a técnica digital. Tal resolução previu a prorrogação das autorizações de uso das radiofrequências, uma única vez, e somente podendo ocorrer indeferimento se for constatado que as radiofrequências não estão sendo utilizadas de forma racional e adequada, nos termos da regulamentação específica; se a autorizada cometer infrações reiteradas em suas atividades ou se for considerada necessária a modificação de destinação do uso de radiofrequências.

De acordo com a LGT, o interesse de renovação da outorga deve ser manifestado ao órgão regulador brasileiro três anos antes de seu vencimento. Em 2006, dez prestadoras informaram seu interesse e, em 2009, suas outorgas foram renovadas, com restrições. Assim, quando a Anatel renovou as autorizações das MMDS, contingenciou seu uso à existência de um mercado de mobilidade. Outras autorizações de MMDS deverão vencer entre os anos de 2013 e 2017.

Atualmente existe a necessidade de estabelecer novas regras de uso dessa faixa, o quanto dela poderia ser destinado aos diferentes serviços e, também, identificar o valor de custo para uso da faixa em mobilidade. Entre agosto e outubro de 2009, essa faixa esteve sob Consulta Pública, que propôs gradativa redução de faixa destinada a MMDS até 2015, que passaria a ser de 2570 a 2620 MHz, e inclusão do SMP segmentado entre 2500 a 2570 MHz e 2620 a 2690 MHz. Essa modificação segue a Recomendação UIT-R M.1036 e foi adotada pela União Européia.

4.2.3 Faixa de 3,3 GHz a 3,6 GHz

A faixa de 3,3 a 3,4 GHz está destinada a aplicações para SARC, RpTV, CFTV e radiação restrita [32]. A faixa de 3,4 a 3,6 GHz está destinada para serviços fixos, em caráter primário, para prestação do Serviço Telefônico Fixo Comutado Destinado ao Uso do Público em Geral e do Serviço de Comunicação Multimídia, conforme [31]. A prestação de ambos os serviços poderá fazer uso da aplicação da facilidade de mobilidade restrita, nos termos da Regulamentação a ser editada pela Anatel. Essa faixa também compreende aplicações ligadas ao SARC, RpTV, CFTV e radiação restrita [32].

Em Novembro de 2002, a Anatel publicou um edital que estabelecia licitação das faixas de frequências de 3,5 GHz (3450 a 3500 MHz / 3550 a 3600 MHz) e 10,5 GHz (10.182 – 10.294 MHz / 10.532 – 10.644 MHz) para aplicações ponto-multiponto. Os detalhes para a faixa de 10,5 GHz serão abordados no item 4.2.5. O objetivo dessa licitação era adjudicar 28 (vinte e oito) pares de blocos de frequência de 3,5 GHz, com largura de banda de 1,75 MHz, estruturados em três regiões brasileiras (I, II e III) e em vários Códigos de Área, distribuídos pelos 26 (vinte e seis) estados brasileiros. A licitação ocorreu em Fevereiro de 2003 e os vencedores foram as empresas Embratel, DirectNET, Grupo Editorial Sinos, *Inforwave*, Universal Telecom, Vant e WKVE. Estas empresas adquiriram as seguintes quantidades de blocos de frequências, conforme a tabela 4.2.

Empresa	Blocos adquiridos	Observação
Embratel	Regiões I, II e III e 4 (quatro) pares de blocos nos Códigos de Área SP1 e RJ1, em 3,5 GHz.	Pagou R\$ 13.170.000,00 (treze milhões e cento e setenta mil reais) pela aquisição das autorizações.
DirectNET	Região III	Foram pagos R\$ 2.600.000,00 (dois milhões e seiscentos mil reais) pela aquisição de blocos. A DirectNET foi adquirida em Novembro de 2005 pela Neovia, que foi vendida para a CTBC.
Grupo Editorial Sinos	12 (doze) pares de blocos no Código de Área RS1, em 3,5 GHz.	Gastou-se R\$ 946.600,00 (novecentos e quarenta e seis mil e seiscentos reais) na aquisição de blocos.
<i>Inforwave</i>	1 (um) par de blocos no Código de Área MG2 em 10,5 GHz	Valor pago foi de R\$ 275.000,00 (duzentos e setenta e cinco mil reais) na aquisição dos blocos.
Universal Telecom	1 (um) par de blocos nos Códigos de Área MG5, RJ1, RJ2, SP1, SP3, SP5, SP6 e SP9, em 10,5 GHz.	Foram pagos R\$ 2.680.000,00 (dois milhões e seis e oitenta mil reais) na aquisição dos blocos.
Brasil Telecom (Vant)	Em 3,5 GHz: 4 (quatro) pares de blocos nos Códigos de Área CE1, PE1, BA1, MG1, MG2, MG4, RJ1, SP1, SP9, PR1, PR3 e RS1. Em 10,5 GHz: 1 (um) par de blocos nos Códigos de Área RJ1, SP1, PR1, PR3 e RS1.	Gastou-se R\$ 6.260.000,00 (seis milhões e duzentos e sessenta mil reais) para 3,5 GHz e R\$ 2.860.000,00 (dois milhões e oitocentos e sessenta mil reais) para 10,5 GHz. A Vant foi absorvida integralmente pela operadora Brasil Telecom, que foi adquirida pelo Grupo Telemar/Oi.
WKVE	Em 3,5 GHz: 4 pares de blocos nos Códigos de Área BA2, MG3, MG5, MG7, ES1 e ES2.	Foi pago o valor de R\$ 697.100,00 (seiscentos e noventa e sete mil e cem reais).

Tab. 4.2– Resultado da Licitação de 2003 para as faixas de 3,5 GHz e 10,5 GHz.

Do total de 70 (setenta) autorizações licitadas, 21 (vinte e uma) (30%) foram outorgadas na faixa de 3,5 GHz e 13 (treze) (18,5%) na faixa de 10,5 GHz. Como resultado, verificou-se que as únicas empresas brasileiras de telecomunicações que têm autorização de SCM para prover serviços com a tecnologia WiMAX em 3,5 GHz no Brasil são a Embratel, no Brasil inteiro, e a Brasil Telecom, nas capitais dos estados Ceará, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul e em mais quatro localidades, onde algumas destas áreas complementaram a cobertura da BrT.

Após a licitação de 2003, em Fevereiro de 2005, a Anatel lançou a Consulta Pública nº 594 com o objetivo de fazer alguns ajustes na faixa de 3,5 GHz, oferecendo canais múltiplos de 1,75 MHz e solicitando que os sistemas operem com o mínimo de 1,14 de eficiência na capacidade de transmissão em Mbps/MHz (exigência de sistemas com maior eficiência no uso da faixa). O interesse da Anatel em alterar os blocos de 5 MHz para 1,75 MHz foi devido à maior oferta de equipamentos de WiMAX no mercado e, também, licitar as demais partes do espectro não utilizadas na primeira licitação.

Em outubro de 2005, a Anatel publicou um novo edital na tentativa de licitar os blocos restantes de 3,5 GHz e 10,5 GHz, por esse motivo denominado Licitação das Sobras. Este edital foi cancelado porque várias empresas de telecomunicações reclamaram que estavam excluídas da licitação.

A Anatel postergou a nova licitação para Janeiro de 2006. Porém, o Ministério Público intercedeu com a prerrogativa de que essa precisava de uma nova Consulta Pública, pois na anterior, que antecedeu o edital de 2005, constava que as concessionárias de telecomunicações não iriam participar da licitação. Posteriormente, a Anatel mudou de posicionamento. Desta forma, o Ministério Público achou por bem solicitar uma nova Consulta Pública à Anatel, que se encerrou em janeiro de 2006.

Em julho de 2006, outra licitação foi aberta para outorga de autorização de uso de blocos de radiofrequência de 3,5 GHz e 10,5 GHz, associada à autorização de SCM ou de autorização ou concessão de STFC. Eram ofertados blocos de frequências para as regiões I, II e III do Plano Geral de Outorgas e blocos de frequência por área de numeração (Licitação nº 002/2006/SPV). Em agosto de 2006, o Ministério das Comunicações solicitou a suspensão dessa Licitação, com o objetivo de harmonizar as políticas que estavam sendo elaboradas por ele, para promoção do Programa de Inclusão

Digital às ações da Agência. A suspensão não foi aprovada pelo Conselho Diretor da Anatel. O edital restringia a participação das concessionárias do STFC, na modalidade de serviço local, bem como suas controladoras, controladas ou coligadas. Pelo edital, elas não poderiam apresentar propostas financeiras para as áreas em que detêm concessão. Estas empresas, no entanto, conseguiram em 30/08/06, através da Associação Brasileira de Concessionárias de Serviço Telefônico Fixo Comutado (Abrafix), uma liminar na justiça suspendendo esta restrição. A Anatel recorreu, porém, foi derrotada nas várias instâncias. A última foi em 08/01/07 quando a sexta turma do Tribunal Regional Federal 1ª Região (Brasília) negou, de forma unânime, o provimento apresentado pela Anatel. Foram 163 (cento e sessenta e três) empresas que adquiriram esse Edital, das quais 152 (cento e cinquenta e duas) estavam credenciadas para apresentar as propostas. Cem propostas foram entregues. Ao todo, foram 1056 (mil e cinquenta e seis) objetos em licitação, distribuídos por Regiões de Outorga e Áreas de Numeração. Na licitação por regiões do Plano Geral de Outorga (PGO), a distribuição era a seguinte: na faixa de 3,5 GHz, havia três outorgas para a Região 1, três outorgas para a Região 2 e duas outorgas para a Região 3; na faixa de 10,5 GHz, havia quatro outorgas para cada região do PGO. Na licitação por áreas de numeração, havia oito outorgas para cada uma das 67 (sessenta e sete) áreas, em ambas faixas de frequências de 3,5 GHz e 10,5 GHz.

As cem propostas foram entregues em 4 de setembro de 2006. A abertura dessas propostas era prevista para 18/09/2006, mas foi suspensa pelo TCU, que alegou haver uma defasagem no valor do utilizado na determinação dos preços mínimos, definidos no edital. A Anatel apresentou sua defesa e, em dezembro de 2006, o Ministro do TCU, Marcos Vilela, pediu vista no processo levando a um adiamento da decisão do TCU sobre a licitação para janeiro de 2007. Com essa medida, ficou aberta a porta para a realização de uma nova licitação em outros moldes. Entre novembro de 2008 e janeiro de 2009, ocorreu a consulta pública para destinação das frequências entre 3,4 e 3,6 GHz ao Serviço Móvel Pessoal. Essa mudança pode significar a inserção do WiMAX nesse grupo de serviços, passível, portanto, de ser prestado no mercado local, de acordo com o ambiente regulatório vigente. Atualmente, cinco operadoras fazem uso dos 3,5 GHz para oferta de WiMAX fixo, embora a tecnologia do 802.16e as permitam, em tese, fornecer serviços móveis. Por não haver um movimento de licitação das autorizações de

SMP e certificação de novos equipamentos e dispositivos, mesmo quem desejar não pode ingressar no fornecimento de novos serviços de WiMAX.

4.2.3.1 Problemas em 3,5 GHz

Casos de interferência prejudicial foram identificados na recepção de sinais de TV via satélite (TVRO), na frequência de 3,5 GHz, através do histórico de reclamações de entidades e denúncias de interferência. Como as estações receptoras de TV não são cadastradas nas bases de dados da Anatel pelo fato de serem somente estações receptoras, o serviço de recepção de TV via satélite não é fiscalizado pela Agência, não tendo, assim, índices que identificam quantidade, frequências e as áreas de reclamação.

É detalhado, a seguir, um caso de interferência na recepção em Governador Valadares, Minas Gerais, no Pico do Ibituruna ($18^{\circ}\text{S}53'0980''/41^{\circ}\text{W}55'0690''$). A Figura 4.1 apresenta um esquema da disposição das estações interferidas e receptora WiMAX.

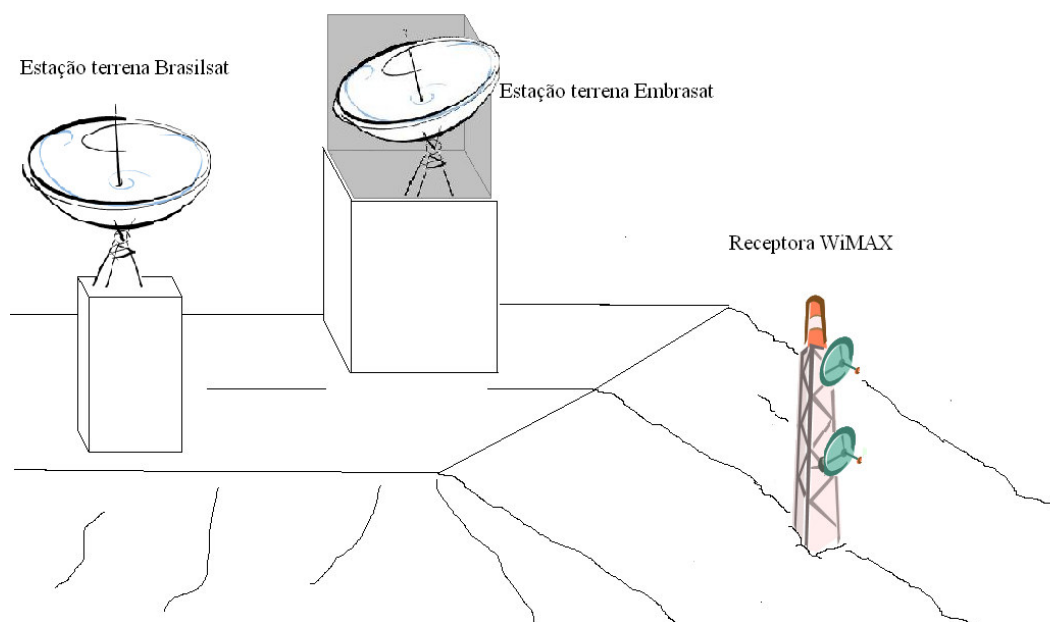


Fig. 4.1 – Esquema de posicionamento das estações interferidas e receptora WiMAX

A fonte interferente é um sinal de uma antena operando em uma rede WiMAX, na frequência de 3,5 GHz. A antena receptora WiMAX é apresentada na Figura 4.2.



Fig. 4.2 – Receptora WiMAX

As fontes interferidas são Repetidoras de TV, filiadas às grandes redes Bandeirante e Globo. A primeira, sistema da Band Minas, possui sinais na frequência 3556 MHz, oriundos do satélite B1, e antena de recepção de 2,2 m do fabricante Harold BrasilSat, conforme Figura 4.3. As ocorrências identificadas foram perdas de sinal e congelamento de imagem para ambos os casos.



Fig. 4.3 – Estação Terrena BrasilSat operando na frequência 3556 MHz pelo satélite B1

A segunda, sistema da TV dos Vales, do Grupo Rede Globo, possui antena de 3,2 m do fabricante Embrasat, operando em 4038 MHz na recepção do satélite NSS7, conforme a Figura 4.4. Observa-se ausência ou incorreta atuação de filtro por permitir recepção de sinal prejudicial fora da faixa de frequências de 3,5 GHz. Através dessa mesma figura, verifica-se o uso de barreira metálica na parte de trás da antena com intuito de evitar interferências recebidas nessa direção. Esses problemas são apresentados no capítulo 5.



Fig.4.4– Estação terrena Embrasat operando na frequência de recepção 4038 MHz pelo satélite NSS7

4.2.4 Faixa de 5,8 GHz

Esta é a faixa de frequências que não necessita de autorização para uso. Pode-se citar a Diveo e Intelig como prestadoras de serviços de WiMAX nessa faixa de frequências, onde o provedor de serviços precisa apenas que os equipamentos sejam certificados ou homologados pela Anatel, seguindo o regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita [20].

4.2.5 Faixa de 10,5 GHz

A faixa de 10,5 GHz (10.182 – 10.294 MHz / 10.532 – 10644 MHz) participou da mesma licitação da faixa de 3,5 GHz, para aplicações Ponto-Multiponto, conforme apresentando anteriormente. Essa licitação tinha como objetivo adjudicar 16 (dezesesseis) pares de blocos de frequências de 10,5 GHz, com largura de faixa de 7 MHz, também pelas três regiões brasileiras e em vários códigos de área distribuídos pelos 26 (vinte e seis) estados brasileiros. Os resultados dessa licitação estão apresentados na tabela 4.2.

5 ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA NA FAIXA DE 3,5 GHZ

No capítulo 4, foi apresentado o problema de interferência na recepção dos sinais de TV via satélite, quando da implementação de sistemas WiMAX para a faixa de frequências de 3,5 GHz. Esse capítulo discute o problema em maior profundidade, abordando classificações de casos, Recomendações da UIT, técnicas de mitigação e estudo de alguns casos específicos.

5.1 CLASSIFICAÇÕES DE CASOS

O tratamento e utilização da faixa de 3,4 a 4,2 GHz pelo FSS, na maioria dos países, podem ser classificados em quatro casos principais. No primeiro caso, os países fazem o mínimo uso da faixa para FSS e as recomendações internacionais da UIT sobre Regulamentação de Radiocomunicações são observadas. No segundo, os países possuem poucas estações FSS e os órgãos de controle nacionais habilitam a coexistência entre sistemas BWA como WiMAX e estações terrenas de FSS. Como exemplos pode-se citar a França e o Reino Unido. Essa situação requer uma coordenação bilateral entre as redes de sistemas e restrições apropriadas, se as separações geográficas não puderem evitar a existência de impactos prejudiciais. No primeiro e segundo casos, espera-se que a distribuição de sistemas WiMAX seja intensa e sem muitos problemas. O terceiro caso se refere a países que possuem distribuição, em larga escala, de estações terrenas FSS com antenas que não são registradas. Com um grande número de estações terrenas distribuídas, grande também será a quantidade de LNA ou LNB operando na faixa de 3,4 a 4,2 GHz, cujos efeitos são a geração de produtos de intermodulação devido a tais dispositivos operarem na região não-linear da curva de resposta do amplificador. Neste

grupo encontra-se o Brasil, que possui a faixa de 3,6 a 4,2 GHz destinada para operação de FSS. Na prática, nesse terceiro cenário é mais difícil a implantação de redes WiMAX, porque o FSS já possui muitas estações terrenas. Este cenário pode ser subdividido em outro, no qual as estações terrenas não utilizam filtros e operam na parte baixa da faixa. Em muitos países, as operações de FSS somente são feitas abaixo de 3,7 GHz ou 3,6 GHz e não é necessário o uso de filtros, mas em outras nações, isso depende de como a faixa é usada por diferentes serviços como serviços de Radar. A aplicação de filtros pode gerar restrições para uso da faixa de operação adjacente devido às suas características de *roll-off** e também podem ser inadequados para as antenas receptoras, sendo assim necessário o uso de faixa de guarda entre dois serviços. Já o quarto caso representa países onde as frequências de 3,4 a 4,2 GHz são usadas para recepção TV e/ou VSAT. Este é o caso de alguns países na Ásia, como Vietnã, onde serviços terrestres de acesso sem fio não são permitidos nesta faixa.

As interferências identificadas nas estações terrenas são interferência co-canal e interferência de canal adjacente. A interferência co-canal, também conhecida como interferência *in-band*, é causada por sistemas coexistentes, ou seja, que operam na mesma faixa de frequências. Devido à longa distância e a limitação de potência dos satélites, o fluxo de densidade de potência de entrada das estações terrenas é baixo. Equipamentos terrestres muito próximos das estações terrenas podem apresentar altos níveis de potência na entrada dos receptores de FSS.

Os amplificadores LNA e LNB de recepção das estações terrenas são designados para a recepção de sinais muito baixos de satélites, em sua faixa dinâmica. A saturação desses amplificadores ocorre com sinal total de recepção em torno de -50 dBm e eles possuem um comportamento não-linear com um sinal total de entrada de 10 dB abaixo de seu ponto de saturação, criando produtos de intermodulação e supressão de portadoras.

Para permitir a coexistência dos serviços BWA e FSS, deve-se identificar o maior nível de sinal dos sistemas BWA sem que este cause interferência prejudicial na recepção de serviços FSS. O licenciamento de estações entre os sistemas com uma distância de proteção ajuda a evitar a interferência do sinal a ser estabelecido. O uso de técnicas de mitigação pode reduzir esses espaços físicos.

5.2 TRATAMENTO POR ÁREA DE COORDENAÇÃO, LIMITE DE ESPÚRIOS E EXEMPLO DO CASO DE INTERFERÊNCIA ENTRE VSAT E FWA

O compartilhamento de radiofrequências se dá pelo uso de uma mesma frequência, faixa ou canal de radiofrequências por mais de um explorador dos serviços de telecomunicações na mesma área geográfica, ao mesmo tempo ou não, sem interferência prejudicial entre eles. Esse item aborda a regulamentação e as recomendações da UIT que fornecem procedimentos, limites e meios de avaliar as distâncias de separação e níveis de interferências em tal situação.

5.2.1 Apêndice 7 do Regulamento de Radiocomunicações da UIT

Segundo [37], o Apêndice 7 do Regulamento de Radiocomunicação (RR - *Radio Regulation*) da UIT fornece um procedimento para a determinação da área de coordenação em torno de uma estação terrena, transmissora ou receptora, que esteja compartilhando o espectro nas faixas de frequências entre 100 MHz e 105 GHz, com os serviços terrestres da radiocomunicação. Este procedimento é utilizado para grandes estações terrenas que exigem a proteção de emissões dos países vizinhos, e pode ser aplicado às estações terrestres por meio de uma coordenação das condições da área de serviço em que os terminais operam.

A área de coordenação representa a área que cerca a estação terrena de recepção, que compartilha da mesma faixa de frequências, com estações terrestres dentro de um nível de interferência que, caso seja excedido, exija a ação de correção. Essa área da coordenação é determinada com base nas características da estação terrena coordenada e em suposições conservadoras para o trajeto de propagação e parâmetros de sistema das estações terrestres desconhecidas, que compartilham da mesma faixa de frequências. A área de coordenação também pode ser considerada como área de mitigação ou distância de separação entre as estações de estudo. Esse procedimento permite determinar uma distância, chamada distância de coordenação, em todas as direções azimutais em torno da estação terrena receptora, além da qual a predição das perdas de trajeto seria esperada para o caso de exceder os valores específicos, em uma porcentagem específica do tempo.

Embora a determinação da área de coordenação seja baseada em critérios técnicos, também representa um conceito regulador. Sua finalidade é identificar a área, por avaliações detalhadas do nível de interferência admissível, a fim de determinar se a estação terrena coordenada, ou alguma das estações terrestres, que estão compartilhando da mesma faixa de frequências, experimentarão níveis inaceitáveis de interferência. A área de coordenação não é uma zona de exclusão dentro da qual o compartilhamento de frequências entre a estação terrena e estações terrestres ou outras estações terrenas é proibida, mas um meio de determinar a área na qual precisam ser executados cálculos mais detalhados de planejamento.

5.2.2 Apêndice 3 do Regulamento de Radiocomunicações da UIT

O apêndice 3 do RR fornece limites sobre espúrios para a proteção dos serviços que operam nas faixas adjacentes. A Figura 5.1 ilustra, para o exemplo de emissão BWA, como as emissões espúrias são definidas, próximas da frequência da portadora de recepção via satélite.

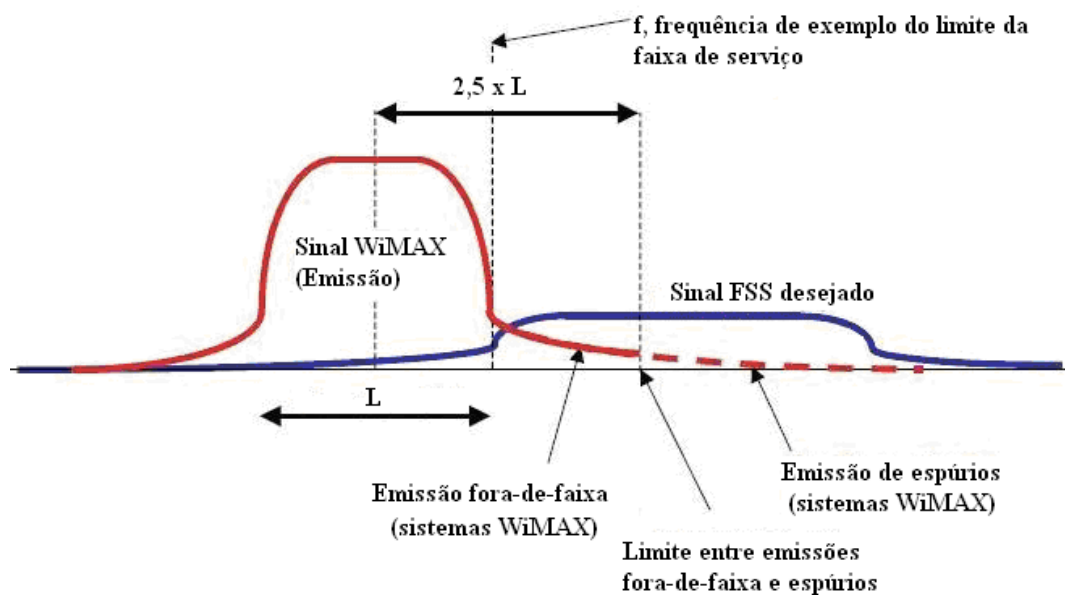


Fig. 5.1 - Emissões de espúrios definidas conforme Apêndice 3 do RR

Este regulamento propõe que as emissões espúrias do equipamento transmissor, da tecnologia BWA, seja atenuado abaixo da potência média fornecida à linha de transmissão da antena, de $[43 + 10\log(P)]$ ou $70 \text{ dBc}^{(5)}$, sendo utilizado o que for menos atenuante. P é a potência média, em watts, fornecida à antena, para uma portadora

(5) dBc é um sinal em decibel, relativo à portadora (*carrier*) não-modulada.

digital. Como um exemplo, se $P = 1\text{ W}$ (0 dBW), então a atenuação exigida para os espúrios é de 43 dB, por ser menos atenuante que 70 dBc.

5.2.3 Recomendação UIT-R SF.1486 - Compartilhamento na faixa de 3,4 GHz a 3,7 GHz por VSAT e acesso fixo sem fio

Estações terrenas que operam no FSS como terminais VSAT tendem a ser espalhados nas faixas onde as administrações nacionais tomam precauções para não colocarem redes terrestres. A Recomendação UIT-R SF.1486 fornece meios de avaliar a distância de separação entre estações terminais de clientes de acesso fixo sem fio (FWA - *Fixed Wireless Access*) co-canais, com antenas direcionais e estações terrenas VSAT em uma densa área urbana. O sistema FWA considerado é um sistema ponto-multiponto, de faixa estreita específica (canal com 307 kHz). O sistema VSAT considerado é para uma relação portadora/interferência que pertence a serviços particulares e, geralmente, não podem ser aplicados a todos os tipos de serviços FSS. A cobertura da distância de separação é de até dez quilômetros e emprega um modelo de propagação que considera atenuação em espaço livre, com sinais eletrônicos indesejados de estações terminais e de variação de proteção para VSAT (acima de 40 dB). Fato relevante é que somente a estação rádio base central é considerada. A suposição de proteção física em torno do terminal de VSAT de 20 a 40 dB é um tanto otimista porque os efeitos da proteção em áreas urbanas tendem a ser diminuídos pela dispersão e pela reflexão no ambiente tridimensional [37].

As técnicas da mitigação específicas para antenas de estações terminais de FWA fornecidas na recomendação, com montagem em espaço livre para facilitar o compartilhamento de frequência, são:

- Antenas VSAT, sempre que possível, devem estar situados para maximizar a proteção dos possíveis interferentes de FWA;
- Antenas VSAT e as estações ponto-multiponto FWA não devem estar situadas em posições mais altas do que é necessário para a aplicação;
- Reduzir a radiação de costas das estações terminais de FWA que, geralmente, devem estar situadas de encontro às paredes, abaixo das linhas do telhado, etc;

- Avaliar o uso de uma proteção natural de modo a aumentar perdas obstrutivas/difração, ao implantar sistemas FS ou FSS;
- Usar obstruções artificiais, se nenhuma proteção natural existe;
- Adaptar o padrão de alimentação das antenas VSAT para fornecer maior rejeição da interferência, caso possível;
- Usar antenas direcionais por estações rádio base centrais ou estações terminais de sistemas FWA.

Nota-se que a maioria das técnicas exige o conhecimento da posição dos terminais de FWA e dos terminais de VSAT. Estas informações não estão disponíveis em muitos países. Pelo fato desta ser a única Recomendação da UIT na partilha entre serviços de acesso sem fio e estações terrenas, muitos artigos têm feito uso da mesma, estendendo suas aplicações.

5.3 TÉCNICAS DE MITIGAÇÃO

Técnicas de mitigação são aplicadas para atenuar as interferências entre estações próximas. As técnicas de mitigação aplicadas às estações rádio base WiMAX são inclinação de feixe (*downtilt*), restrição de cobertura e uso de antenas adaptativas nas estações rádio base WiMAX. As estações terrenas podem utilizar técnicas de mitigação como a cobertura física, o uso de filtros e segmentação de faixa.

5.3.1 Inclinação do feixe

Como mostrado na Figura 5.2, o efeito de inclinação do feixe sobre as antenas rádio base WiMAX é benéfico para compartilhamento de frequência com outras estações, mas, principalmente, quando ambas estão localizadas nos topos de telhados. Quando a estação terrena está posicionada de forma a obter uma proteção extra de cobertura das fontes de interferentes distantes, pelo uso da situação local, a vantagem diminui.

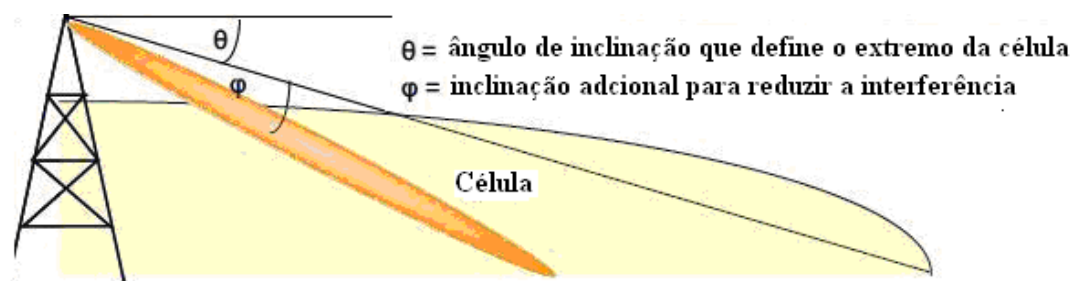


Fig. 5.2 – Redução de interferência pela modificação da inclinação do feixe.

5.3.2 Restrição de cobertura

Esta técnica é utilizada por estações terrenas, que em localizações conhecidas podem ser protegidas de emissões de estações rádio base WiMAX, através da implementação de uma proteção parcial. Deve-se ter cuidado para atender a todos os usuários da tecnologia WiMAX em setores ativos, estes podem ser randômicos através das estações terrenas. Assim, é clara a necessidade de aumentar o número de estações rádio base para uma requerida cobertura. Pode-se aplicar, também, em alguns casos a restrições ao sinal transmitido.

5.3.3 Antenas adaptativas

O uso de antenas adaptativas com o redirecionamento de feixe (*beam-steering*) por estações rádio base WiMAX serve para assegurar que interferência na direção das estações terrenas possa ser evitada. Porém, isso somente ocorre se as estações terrenas têm sua localização conhecida.

5.3.4 Cobertura física

A cobertura física promove a proteção nos dois sentidos de irradiação das estações protegidas, para os raios que chegam em sua direção e, também, para os raios emitidos, como a Fig. 5.3 em Caracas, na Venezuela. Antenas de estações como *gateway* principal podem ser muito largas, com diâmetros de 8 a 15 m e, às vezes, até de 32 m, tornando onerosa a cobertura artificial.



Fig. 5.3 - Estação terrena com tela de proteção, Caracas

Em regiões menos povoadas, pode-se fazer a proteção de pequenas antenas, seja pela existência de prédios ou obstáculos sobre os telhados na direção da fonte interferente conhecida. Entretanto, sem a proteção física por todos os lados, sua eficiência é pobre devido à existência de espalhamento e reflexões de multipercursos nas três coordenadas.

5.3.5 Filtros

As estações terrenas podem operar em qualquer porção da faixa do FSS, como um segmento de frequências portadoras suportadas pelas operadoras de satélite. Porém, isto não significa que a estação terrena possa evitar sua operação em janelas de frequência selecionadas. Filtros adequados na entrada da recepção dessas estações podem ajudar sistemas WiMAX a se desenvolverem na parte baixa da faixa (3,4 a 3,7 GHz).

5.3.6 Segmentação da faixa

Pode-se, ainda, fazer uso de operação em faixas segmentadas. Esta deve ser uma solução eficaz em países que possuem um grande número de estações terrenas operando na parte superior da faixa (3,7 a 4,2 GHz). Entretanto, os problemas de interferência ainda podem persistir sobre a aplicação de sistemas WiMAX, na mesma área geográfica

dessas estações terrenas. Pode ser necessário o uso de filtro na entrada das estações terrenas receptoras, mas isso será difícil se existe densa distribuição da estação terrena.

5.4 ESTUDOS DE C

5.4.1 Aplicação do Apêndice 7 do RR

A Figura 5.4 mostra a área de coordenação em torno da estação terrena de Burum, em Holanda, citada em [37], na faixa de 3,6 a 3,8 GHz. Destaca-se que o sistema terrestre BWA possui EIRP máxima de 14 dB (W/MHz), que é o limite superior atual para sistemas de FWA na Holanda, nesta faixa. Caso os transmissores britânicos da rede de BWA, dentro da área de coordenação contornada pela linha preta, excedam os limites estabelecidos, a administração britânica (Ofcom) é solicitada para promover a interação entre a parte interferente e interferida, a fim de proteger a estação de Burum e outras, de possível interferência de sinais de transmissões de redes BWA.

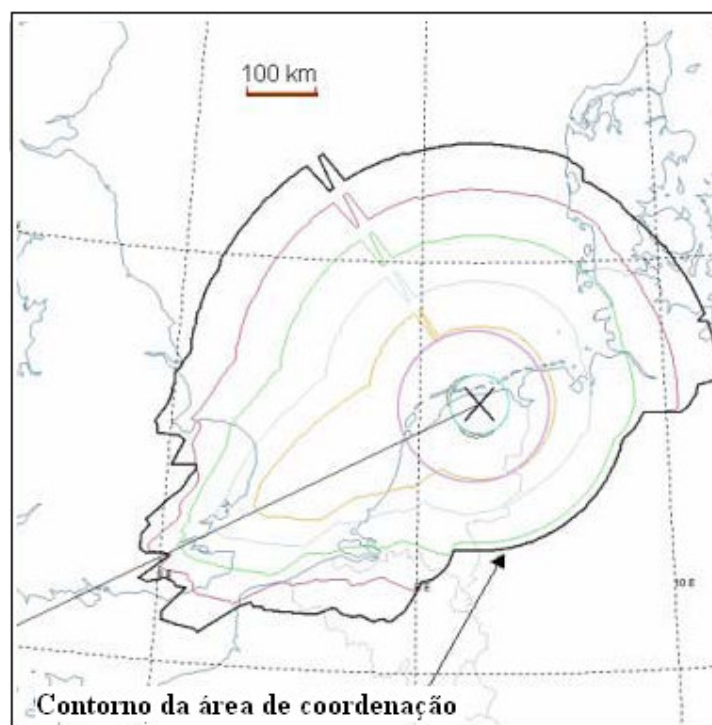


Fig. 5.4 – Área de coordenação em torno da estação terrena de Burum na Holanda

Neste exemplo, os contornos internos coloridos mostram a área reduzida para menores valores de potência transmitidas. Para valores de redução entre 15 e 20 dB (quarta e quinta linha de contorno a partir do contorno de cor preta, respectivamente), a área de coordenação já não aborda o Reino Unido.

5.4.2 Destinação da faixa de 3,65 GHz a 3,7 GHz para BWA nos EUA

Desde março de 2004, conforme [37], a faixa de 3,65 a 3,7 GHz é usada por sistemas terrestres, com acesso sem fio em banda larga nos EUA, para permitir que a faixa de frequências entre 3,7 e 4,2 GHz seja compartilhada entre redes nacionais de satélites, suas principais estações terrenas internacionais (que são oitenta e seis ao todo) e, também em alguns casos, a recepção de redes de acesso sem fio. As características principais são:

- Estações rádio base BWA e os terminais fixos são limitados a uma EIRP máxima de 25 watts, em faixa com largura de 25 MHz - densidade máxima de 1 Watt/MHz.
- Dispositivos móveis são limitados a um pico EIRP de 1 W (em 25 MHz); máximo de 40 mW/MHz.
- Zonas de proteção de 150 km em torno das 86 estações terrenas internacionais, que recebem na faixa de 3650 a 3700 MHz (assim como a faixa de 3700 a 4200 MHz).
- Instalação de estações BWA dentro desta área é possível somente com a coordenação da operadora da estação terrena.
- Zonas de proteção de 80 km em torno dos três radares (radiolocalização) que operam de 3,65 a 3,7 GHz.
- Estações rádio base de BWA com radiação direcionada para território dos EUA perto das fronteiras com México e Canadá.
- Licenciamento para estações de ambos os sistemas.
- Atenuação de emissões fora-de-faixa abaixo da potência (P) do transmissor, em Watts, por um fator mínimo de $[43 + 10 \log (P)]$ dBc (seção 5.2.2).

Uma maior proteção das estações terrenas, que operam na faixa adjacente, de 3,7 a 4,2 GHz, foi solicitada pelo grupo de indústrias americanas, por possuírem uma

distribuição difundida de terminais. Os interesses desse grupo relacionam-se às emissões fora-de-faixa e à possível saturação de amplificadores de baixo ruído de faixa larga. Para esses casos, a aplicação do Apêndice 3 do RR não é suficiente para proteger os serviços satélites na faixa acima de 3,7 GHz, como decidido pelo FCC, que solicitou que os sinais interferentes sejam atenuados de $[71,25 + 10 \log (P)]$ dBc, onde P é a potência média em Watts fornecida à antena.

5.4.3 Destinação da faixa de 3,4 a 3,8 GHz na Europa

O grupo de projetos CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) finalizou, em 2007, o relatório [42] sobre a compatibilidade de estudos entre sistemas BWA e outros serviços, na faixa de 3,4 a 3,8 GHz. Os principais resultados do estudo de compatibilidade dos sistemas BWA e FSS são:

- Distâncias de mitigação com relação à natureza das estações terrenas FSS dependem do tipo e características das estações BWA.
- Curtas distâncias de operação, dentro das zonas de mitigação, são fisicamente possíveis pelo uso dos benefícios de proteção, promovidos pela topografia de terreno e nos cálculos de perdas de propagação.
- As estações centrais de BWA podem operar dentro da zona de mitigação, mediante uma avaliação detalhada de cada caso.
- A coordenação de uma estação rádio base central BWA é, geralmente, suficiente para assegurar a coexistência dos terminais de estações por esses provocarem menor impacto.
- Sistemas de BWA distribuídos e FSS não devem compartilhar mesma área geográfica, se o sistema FSS é implementado sem que as estações terrenas possuam autorizações individuais de operação e se uma separação mínima pode ser garantida – caso dos terminais VSAT.
- Para que sistemas BWA e FSS operem em faixas de frequências adjacentes, há uma necessidade de que a distância da mitigação evite que os amplificadores de baixo ruído dos receptores satélites sejam conduzidos a trabalhar em região não-linear.

6 ASPECTOS REGULATÓRIOS

O Brasil é considerado um mercado deficitário em acesso sem fio em banda larga, onde existem necessidades como popularização da internet, inclusão digital e competitividade entre empresas. Nesse contexto, são muitas as possibilidades de aplicação da tecnologia WiMAX. Sua implementação, porém, está limitada e isso ocorre em um momento em que grandes investidores mundiais definem o Brasil como um dos países prioritários para seus investimentos nos próximos anos.

O presente trabalho identifica esses problemas que prejudicam os desenvolvimentos de sistemas WiMAX no Brasil.

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Do ponto de vista político, a Anatel se encontra em situação delicada pelo fato de sua função, que é de órgão regulador, não poder ser exercida de forma ampla, a não ser pela sua atuação na área de fiscalização e planejamento de espectro. O órgão regulador deveria também fazer a análise de mercado e anteceder seus atos às necessidades, evitando dessa forma morosidade nas decisões tomadas; todavia tais atividades têm sido exercidas pelo Ministério das Comunicações. Apesar disso, recentes publicações de seu planejamento de curto, médio e longo prazo sobre a regulamentação (PGR – Plano Geral de atualização da Regulamentação) e qualidades de serviços (PGQ - Plano Geral de Qualidade dos Serviços) mostram que não perdeu seu foco.

Segundo o PGR, existem atualmente 355 MHz de espectro disponíveis para atender serviços de acesso sem fio em banda larga, onde 50 MHz estão na faixa de 800 MHz; 20 MHz em 900 MHz; 150 MHz em 1,8 GHz; 75 MHz em 1,9 GHz e 60 MHz em 2,1 GHz. A Anatel prevê a necessidade de 780 MHz para o ano de 2010, 980 MHz, para 2015, e 1080 MHz para o ano de 2020. Haverá, então, a demanda de mais de 725 MHz de espectro para a mobilidade, em dez anos, e a reestruturação do espectro deve ocorrer para que essa necessidade seja atendida, evitando a paralisação do crescimento das telecomunicações brasileira.

Do ponto de vista econômico, um dos efeitos negativos da atual crise econômica (2008/2009) pode ser o atraso nas licitações previstas de WiMAX, e necessárias para possibilitar acessos em banda larga às áreas que ainda não atendidas.

Mundialmente, os governos temem que não obtenham altos preços nos lances pelas faixas de radiofrequência e os órgãos reguladores suspeitam que as operadoras que obtenham licenças sejam incapazes de construir as novas redes. Os possíveis atrasos nas licitações afetam, particularmente, o WiMAX e LTE pelo fato de serem considerados negócios de médio prazo.

6.2 MOBILIDADE RESTRITA, APLICAÇÕES NOMÁDICAS E REGULAMENTO DO SERVIÇO DE COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA

O conceito de mobilidade restrita [49] foi introduzido pela Anatel como uma facilidade do sistema ponto-multiponto do serviço fixo, que permite ao terminal do usuário o estabelecimento de sessão, chamada ou outra espécie de comunicação com células ou setores distintos daquele em que foi inicialmente instalado. Entretanto, essa resolução inibe sua aplicação. Ocorre que a mobilidade restrita não tem sido empregada, gerando grande especulação em torno de sua forma e necessidade de regulamentação.

Existe a especulação de que a mobilidade restrita poderia estar atrelada ao SCM. Para tanto, o regulamento SCM deveria adotar condições de uso de mobilidade restrita em aplicações ponto-área bidirecionais para serviço fixo, onde a comunicação poderia ser feita por estações terminais, fixas ou móveis, de qualquer ponto dentro de uma determinada área geográfica de cobertura, diretamente com outras estações terminais ou com uma determinada estação nodal, de base ou espacial. Dessa forma, permitiria aplicações nomádicas. Acesso nomádico [20] é um acesso sem fio em que o terminal do

usuário pode se mover livremente dentro da área de cobertura, mas que permanece estacionário, quando em uso. A indústria claramente percebe a importância dessa característica, principalmente com a multiplicação de *notebooks* e equipamentos eletrônicos de consumo que se valem da portabilidade do equipamento, sem demandarem, necessariamente, a mobilidade plena dos aparelhos celulares.

A mobilidade restrita está atrelada ao tamanho da célula e à tecnologia aplicada. Assim, de acordo com o equipamento utilizado, sendo este homologado, pode-se identificar o alcance da célula. A faixa de alcance de uma estação rádio base WiMAX, em área de população densa, pode chegar a poucos quilômetros dependendo de atributos como o tipo de CPE, faixas de frequências, morfologia e outros. Porém, em caso de equipamentos não homologados, a situação se torna de difícil controle. Sob esses aspectos, os equipamentos com tecnologia WiMAX, atualmente, são homologados somente se o modo de mobilidade possa ser desativado. Esta exigência tem como objetivo principal garantir de forma explícita a não utilização pelo prestador ou usuário de serviço ponto-multiponto, de facilidades adicionais que permitam a mobilidade do terminal do usuário, inclusive na sua versão restrita no SCM, devido à sua natureza de serviço eminentemente fixo. Um dos motivos dessa exigência é evitar problemas como verificado em 2002, onde a Vésper, empresa que atuava nas Regiões I e III e adquirida pela Embratel em 2005, possuía apenas a autorização para STFC e fornecia o produto Vésper Portátil, que permitia acesso portátil além da residência ou estabelecimento comercial ao qual estava atrelado. Essa extensão atingia até poucos quilômetros e extrapolava a área de uma célula, que é a área definida para aplicações portáteis no STFC em regulamento.

Outro motivo importante na adição de mobilidade restrita ao SCM está na contradição da atual movimentação de mercado, onde as autorizações de uso do SMP e faixas de frequências destinadas a esse serviço, por serem muito solicitadas moveram enormes quantias para serem adquiridas, em torno de alguns milhões de reais. Ao contrário da autorização de SCM, que tem o valor fixo, sendo atualmente de R\$ 9.000,00 (nove mil reais). Nesse caso, as operadoras somente necessitariam de outorga da faixa de 3,5 GHz para oferecerem serviços com acessos nomádicos, o que implicaria em gastos menores para implementar as novas redes.

No mesmo contexto regulatório, se encaixa a faixa de 2,5 GHz. Atualmente, a maior parte dessa faixa está destinada ao Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto

Multicanal, mas existem 110 MHz, em caráter primário, nas faixas de 2.500 a 2.530 MHz e de 2.570 a 2.650 MHz, para prestação do SCM. É possível uma reestruturação, que aumente a disponibilidade para oferecer serviços SCM e/ou inclua a prestação de serviços móveis. Esta deve ser finalizada em 2012, onde a maior parte das operadoras MMDS já teve suas licenças renovadas e suas redes digitalizadas.

A implementação de sistemas WiMAX pode ocorrer em qualquer faixa desde que existam equipamentos certificados e homologados para operar na faixa de frequências em questão. São mencionadas as faixas de 2,5 e 3,5 GHz, por estas já possuírem equipamentos em tais condições.

Outro ponto importante relativo ao regulamento do Serviço de Comunicação Multimídia é a inclusão de normas para que as operadoras sejam mais objetivas nos contratos que assinam com os usuários, especialmente na parte referente às velocidades que podem ser atingidas na banda larga. É preciso que as empresas explicitem a velocidade máxima e mínima e se o serviço prestado é de modo compartilhado ou dedicado.

6.3 PROBLEMAS TÉCNICOS

No aspecto técnico, existe o problema de interferência devido à coexistência de serviços em mesma faixa de frequências. No Brasil a faixa de 3,6 a 4,2 GHz está destinada ao FSS. Nessa faixa se incluem serviços de recepção de TV por sinais satélite e potencial para implementação de sistemas acesso móvel em 3,5 GHz. A gravidade dessa coexistência é pelo fato das estações terrenas de recepção de TV não serem registradas e possuírem localização desconhecida, pois a regulamentação diz que somente as estações transmissoras do serviço devem ser registradas, não sendo necessário o registro de estações receptoras.

Dessa forma, a capacidade de interferência entre sistemas WiMAX e estações terrenas é alta. As conclusões gerais mostram que a facilidade de implementar sistemas WiMAX na faixa de 3,3 a 3,8 GHz depende muito da extensão em que estações terrenas estão distribuídas pelo país, e a quantidade de espectro destinada para a alocação de serviços fixos de satélite.

Para o caso onde a disposição das estações terrestres é largamente expandida e os terminais de recepção não estão registrados com a administração responsável do país de aplicação, a coordenação entre estações não é simples e operações co-canais são de difícil implementação sem separação geográfica entre os serviços. Assim, com a existência de terminais não registrados, não é possível garantir essa separação. Mesmo onde os terminais de estações terrenas operam em porções separadas da faixa do sistema WiMAX, operações em mesma área serão difíceis devido à ampla disposição de ambos os serviços poderem levar a recepção das estações terrenas a ter problemas de saturação/compressão com seus amplificadores, ocasionados pelo nível de potência de estações rádio base de WiMAX que chega na entrada das estações FSS ou até outros terminais de mesmo tipo. Esses problemas podem ser remediados, com a aplicação de filtros, porém não é praticável se milhares ou milhões desses terminais já estão em operação. Quando se pode utilizar filtros, a faixa adjacente opera com restrições devido a características de *roll-off* do filtro usado.

Para países que usam partes da faixa de 2,3 a 2,7 GHz para BSS (*Broadband Satellite Service*), MSS ou FSS, pode ser necessária a separação geográfica ou a segmentação de faixa para permitir que sistemas terrestres e serviços por satélite possam coexistir. Isto se deve à baixa diretividade da antena da estação terrestre usada nessa faixa. Na prática, a implementação da tecnologia WiMAX deve ser estudada caso a caso.

No Brasil, a faixa de 2,5 GHz ainda é destinada ao Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal. Entretanto, essa faixa pode ser importante para promover o crescimento número de acessos móveis com altas taxas de transmissão em médio prazo. Adicionalmente, essa faixa poderá ser útil para atender a necessidade de disponibilidade de espectro, possibilitando a operação de transmissão em alta velocidade em faixa diferente.

Existe, ainda, perfis para operação de WiMAX em frequências abaixo de 1 GHz, que têm demonstrado resultados satisfatórios na implementação de sistemas com modelo de negócios de serviços em banda larga para pequenos grupos.

6.4 WiMAX MÓVEL

Entende-se por mobilidade a facilidade de um sistema ponto-multiponto de serviço móvel, que permite a transferência de sessão, chamada ou outra espécie de estabelecimento de comunicação contínua, quando da passagem do terminal usuário por

células, ou setores de uma mesma célula, na comunicação entre a ERB e o terminal de usuário.

Existe dificuldade em se identificar como o serviço de acesso móvel em banda larga deve ser enquadrado diante da regulamentação brasileira. A correta forma de tratá-lo é como Serviço Móvel Pessoal pelo fato desse serviço ser promovido entre estações móveis ou destas com outras estações, tendo intrínseca a característica de mobilidade. Observa-se, também, que o Regulamento para o SMP não identifica a tecnologia a ser usada no provimento do serviço.

Observa-se, também, que o serviço em banda larga não se restringe ao acesso à rede mundial de computadores, a *Internet*, apesar deste ser seu maior uso. A *Internet* é um serviço de valor adicionado pelo fato de agregar diferente serviço ao Serviço de Telecomunicações prestado pela empresa.

De acordo com essa visão, o fato da faixa de 3,5 GHz ser destinada ao SMP permitirá que as empresas, que adquirirem autorizações dessa faixa, possam disponibilizar serviços com alta velocidade de transmissão. As empresas que já possuem tais autorizações precisam que suas estações sejam licenciadas. É importante ressaltar que todas precisam de autorização para oferecer serviços SMP.

7 CONCLUSÕES

WiMAX é uma tecnologia de acesso sem fio em banda larga aplicada em sistemas de rádio para transmitir serviços com taxas elevadas de transmissão entre usuários e núcleos de redes atendendo a uma extensa gama de aplicativos. Esses sistemas rádio têm como benefícios sua implementação rápida e de menor custo em comparação com sistemas a cabo, competindo com outros tipos de distribuições fixas e sem fio para conexões de última milha. É baseada no padrão IEEE 802.16, tendo duas versões atuantes: os padrões 802.16-2004 e 802.16-2005. As principais características desses padrões são apresentadas na Tabela 7.1.

Principais Características	802.16-2004 (d)	802.16e
Método de Multiplexação	OFDM / OFDMA	S-OFDMA
Número de portadoras	256(OFDM) / 2048 (OFDMA)	128/256/512/ 1024/2048
Tipos de Acessos	Fixo e Nomádico	Portátil e Móvel
Suporte para <i>handovers</i>	Não possui	<i>Hard e soft handover</i>
<i>Roaming</i>	Acessos nomádicos	Sim
Faixa de espectro	10 a 66 GHz	Abaixo de 6 GHz

Tab. 7.1 – Principais características dos padrões IEEE 802.16-2004 e 802.16e

O padrão 802.16-2004 é menos complexo pelo uso de OFDM e por não requerer suporte para mobilidade, permite o uso das faixas isentas de autorização para operação e altas taxas de fluxos de dados para ambientes externos. O padrão 802.16e permite suporte à mobilidade que permite *handovers*, melhor cobertura em ambientes internos e maior flexibilidade no gerenciamento dos recursos de espectro.

Diferentes faixas de frequência podem ser utilizadas para implementações WiMAX. Cada faixa tem sua característica única e impacto significativo no desempenho do sistema. As faixas mais comuns no mercado global são de 2,3 GHz, 2,5 GHz e de 3,3 a 3,8 GHz, que necessitam de outorgas, e as faixas de 2,4 e 5,8 GHz, isentas de outorga.

A tecnologia WiMAX está presente em mais de cento e quarenta países por todo o mundo, contando com mais de quinhentas redes implementadas com acentuando uso das faixas de 2,5 GHz e 3,5 GHz. No Brasil, essa tecnologia é uma grande ferramenta para a popularização da internet, inclusão digital e a manter a competitividade entre empresas. Algumas operadoras já oferecem serviços com a tecnologia WiMAX com acesso fixo em banda larga, porém é perceptível o atraso de mais ofertas comerciais com uso dessa tecnologia.

Analizando as dificuldades para o Brasil seguir essa tendência mundial, a necessidade de possibilitar os diferentes tipos de acesso de redes e atender as demandas e possibilidades futuras de mercado, faz-se necessárias algumas modificações na atual regulação brasileira de telecomunicações.

A regulamentação da facilidade de mobilidade restrita possibilitaria aplicações nomádicas. Isto tem gerado muita especulação. A mobilidade restrita atrelada ao SCM irá contradizer o atual regulamento. Por outro lado, caso fique atrelada ao SMP acarretará o aumento do custo de suas licenças. Os valores pagos por autorizações de serviços e faixas de SMP são superiores aos valores relacionados ao SCM.

O presente trabalho propõe mudanças no regulamento de Serviços de Comunicação Multimídia, como a inclusão da capacidade de mobilidade restrita sob condições específicas, a exemplo de locais remotos, como ocorre no STFC, e normas para que as operadoras sejam mais objetivas nos contratos que assinam com os usuários. A adoção de condições de uso de mobilidade restrita em aplicações ponto-área

bidirecionais do serviço fixo não descaracteriza o SCM e, sim, amplia suas aplicações sob condições específicas.

Verifica-se, também, a necessidade de dispor outras faixas de frequência para o SMP, abrindo um leque de oportunidades de escolha para as operadoras. Esta atitude também irá atender a futura demanda de espectro. Nesse atual caminho, e pelo presente estudo, conclui-se pela possibilidade de implementar redes WiMAX conforme a Tabela 7.2. As faixas de 700 MHz, 2,3 e 3,3 GHz precisam ser liberadas e seus serviços realocados, quando necessário. As faixas de 2,5 e 3,5 GHz estão em fase de mudança, sendo destinadas principalmente ao SMP, em caráter primário e sem exclusividade.

Faixa de Frequência	Padrão IEEE a ser adotado
700 MHz	802.16e
2,3 e 2,5GHz	802.16e
3,3 GHz	802.16-2004 e 802.16e
3,5 GHz	802.16-2004 e 802.16e
5,8 GHz	802.16-2004
10,5 GHz	802.16-2004

Tab. 7.2– Possíveis faixas e padrões IEEE 802.16 a serem adotados

A faixa de 3,5GHz compartilha frequências com o serviço fixo por satélite, FSS, situação na qual se verifica ocorrência de interferências prejudiciais. Nessa situação, o compartilhamento de faixas para serviços móveis e FSS, deve ser evitado. No Brasil, a faixa de FSS é de 3,6 a 4,2 GHz e a faixa de 3,4 a 3,6 GHz, a ser disponibilizada ao SCM/SMP, não deverá prejudicar a recepção FSS, por não serem co-canais. Em casos de interferências, técnicas de mitigação podem e devem ser aplicadas.

O Brasil tem condições de seguir as tendências do mercado mundial, de acordo com as características de nosso mercado, de forma a possibilitar a implantação de redes com equipamentos já testados. A atualização das condições regulatórias dá

oportunidade para o mercado optar entre as demais tecnologias e as versões 802.16-2004 e 802.16e, padrão aprovado pelo IMT Avançado para 3G, e facilidade para entrada na 4G, com o desenvolvimento do padrão 802.16m.

Para trabalhos futuros pode-se citar:

- estudo para reestruturação da faixa de 2,3 GHz;
- estudo para reestruturação da faixa de 3,3 GHz ;
- planejamento para destinação da faixa de 700 MHz ao SMP em médio/longo prazo;
- estudo para destinação da faixa de 450 MHz ao SMP.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, **IEEE Std 802.16-2004 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems**, 2005.
- 2 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, **IEEE Std 802.16.2-2004 - IEEE Recommended Practice for Local and metropolitan area networks: Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access System**, 2004.
- 3 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, **IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16-2004/Cor1-2005 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1**, 2005.
- 4 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, **IEEE Std 802.16f-2005 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems - Amendment 1: Management Information Base**, 2005.

- 5 NUAYMI, L., **WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access**, John Wiley & Sons, France, 2007.
- 6 ANDREWS, J.G, GHOSH, A., MUHAMED, R., **Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking**, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 1.ed., 2007.
- 7 SWEENEY, D., **WiMax Operator's Manual: Building 802.16 Wireless Networks**, Apress, 2.ed, 2006.
- 8 PAREEK, D., **The Business of WiMAX**, Resource4Business, John Wiley & Sons, India, 2006.
- 9 ZHANG, Y., CHEN, H. H., **Mobile WiMAX: Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Networks**, Auerbach, Taylor & Francis Group, 2008.
- 10 RADHA KRISHNA RAO, G.S.V.R.K., RADHAMANI, G., **WiMAX: A Wireless Technology Revolution**, Auerbach Publications, Taylor & Francis Group, 2008.
- 11 AHSON, S., ILYAS, M., **WiMAX: technologies, performance analysis, and QoS**, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008.
- 12 OHRTMAN, F., **WiMAX Handbook: Building 802.16: Wireless Networks**, McGraw-Hill, 2005.
- 13 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, **Project 802.16m Evaluation Methodology Document (EMD)**, março de 2008.
- 14 SENZA FILI CONSULTING, **Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks**, Fórum WIMAX, novembro de 2005.
- 15 MCBEATH, S., LEI, J., **New enhancements in WiMAX**, Huawei, junho de 2008.
- 16 <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/published.html> (Página de Publicações do grupo IEEE.802.16 – último acesso em 08/02/2010)

- 17 SAUTER, M., **Beyond 3G – Bringing Networks, Terminals and the Web Together: LTE, WiMAX, IMS, 4G Devices and the Mobile Web 2.0**, John Wiley & Sons, 2009.
- 18 www.anatel.gov.br
- 19 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento para Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações**, Resolução N.º 242 de 30 de novembro de 2000, Brasil.
- 20 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita**, Resolução N.º 506 de 1 de julho de 2008, Brasil.
- 21 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento do Serviço de Comunicação Multimídia**, Resolução N.º 272 de 09 de agosto de 2001, Brasil.
- 22 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento dos Serviços de Telecomunicações**, Resolução N.º 73 de 25 de novembro de 1998, Brasil.
- 23 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Súmula N.º 006**, 24 de janeiro de 2002, Brasil.
- 24 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento do Serviço Móvel Pessoal**, Resolução N.º 477 de 7 de agosto de 2007, Brasil.
- 25 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento sobre condições de uso de radiofrequências nas faixas de 800 MHz, 900 MHz, 1.800 MHz, 1.900 MHz E 2.100 MHz**, Resolução N.º 454 de 11 de dezembro de 2006, Brasil.
- 26 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **RESUMO: Aprova a Norma N.002/94-REV/97 - Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal (MMDS)**, Portaria N.º 254 de 16 de abril de 1997, Brasil.

- 27 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências nas Faixas de 2.170 MHz a 2.182 MHz e de 2.500 MHz a 2.690 MHz**, Resolução N.º 429 de 13 de fevereiro de 2006, Brasil.
- 28 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento sobre Canalização e Condições de Uso de Frequências para os Serviços Auxiliar de Radiodifusão e Correlatos, Especial de Repetição de Televisão e Especial de Circuito Fechado de Televisão com Utilização de Radioenlace e dá outras providências**, Resolução N.º 82 de 30 de dezembro de 1998, Brasil.
- 29 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Destina a faixa de radiofrequências de 2.400 MHz a 2.483,5 MHz para uso, em caráter secundário, por sistemas do Serviço Limitado Privado**, Resolução N.º 497 de 27 de março de 2008, Brasil.
- 30 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento sobre condições de uso de radiofrequência da faixa de 2400 MHz a 2483,5 MHz por equipamentos utilizando tecnologia de espalhamento espectral ou tecnologia de multiplexação ortogonal por divisão de frequência**, Resolução N.º 397 de 16 de abril de 2005, Brasil.
- 31 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Regulamento sobre Condições de Uso da Faixa de Radiofrequências de 3,5 GHz**, Resolução N.º 416, de 14 de outubro de 2005, Brasil.
- 32 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil**, 2009, Brasil.
- 33 www.wimax.maps.org (último acesso em 06/07/2009).
- 34 www.tva.com.br (último acesso em 06/07/2009).
- 35 www.embratel.com.br
- 36 WiMAX Fórum, **WiMAX Forum Industry Research Report**, junho de 2009.

- 37 WiMAX Forum, **Compatibility of services using WiMAX Technology with satellite services in the 2.3 -2.7 GHz and 3.3 – 3.8 GHz bands**, 2007.
- 38 WIMAX.COM, **The WiMAX Guide** , abril de 2009.
- 39 RADIO SPECTRUM ADVISORY COMMITTEE (RSAC), WORKING GROUP OF OFTA, **Assessment of Potential Interference between Broadband Wireless Access Systems in the 3.4 – 3.6 GHz Band and Fixed Satellite Services in the 3.4 – 4.2 GHz Band**, Papers 2 and 5, Hong Kong, 2006.
- 40 RADIO SPECTRUM ADVISORY COMMITTEE (RSAC),WORKING GROUP OF OFTA, **Frequency Bands for Broadband Wireless Access**, Paper 3, Hong Kong, 2006.
- 41 ASIA PACIFIC TELECOMMUNITY, **Coexistence of broadband wireless access networks in the 3400-3800 MHZ band and fixed band satellite service networks in the 3400-4200 MHz band**, 2007.
- 42 ELECTRONIC COMMUNICATIONS COMMITTEE (ECC), **Compability studies in the band 3400 - 3800 MHz between broadband wireless access (BWA) systems and others services**, ECC Report 100, 2007.
- 43 JO, H.S, YOON, H.G., LIM, J., PARK, H.Y., YOOK, J.G., **Coexistence Method to Mitigate Interference from IMT-Advanced to Fixed Satellite Service**, Munich Germany, 2007.
- 44 AIJAZ S., **Effects of Deploying IMT-Advanced Systems on Fixed Satellite Services in the 3 400 - 3 600 MHZ Frequency Band in Pakistan**, 2008.
- 45 INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, **ITU-R Recommendation S.1432: Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference for systems operating below 30 GHz**, ITU-R WP4A, Geneva, 2006.
- 46 INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, **ITU Radio Regulations Article 5: <http://life.itu.int/radioclub/rr/rindex.htm>**

- 47 INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, **ITU-R Recommendation SF.1006: Determination of the Interference Potential between Earth Stations of the Fixed-Satellite Service and stations in the Fixed Service**, ITU-R WP4-9S, Geneva, 2000.
- 48 <http://www.ipnews.com.br/voip/fique-por-dentro/opini-o/tecnologia-wimax-traz-o-mundo-ao-alcance-de-um-clique.html>
- 49 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Norma para Certificação e Homologação de Transmissores e Transceptores Digitais para o Serviço Fixo em Aplicações Ponto-Multiponto nas faixas de frequências acima de 1 GHz**, Resolução N.º 492 de fevereiro de 2008, Brasil.
- 50 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, **Coleção Brasileira de Direito das Telecomunicações**, Vol. 2, N. 4, dezembro de 2008.
- 51 ERGEN, M., **Mobile Broadband - Including WiMAX and LTE**, Springer Science+Business Media, USA, 2009.

ANEXO: TIPOS DE ACESSO SEGUNDO O FÓRUM WIMAX

Acesso Fixo

O dispositivo usuário assume ser fixo em uma posição geográfica definida para rede de assinatura, podendo conectar-se e desconectar-se da rede. É capaz de selecionar a melhor estação rádio base no momento de início da conexão (ou sessão). O dispositivo é assim associado a uma estação, célula e setor, e qualquer modificação será identificada pela rede, no instante, e tratada por modo de falha.

Acesso Nomádico

O dispositivo usuário assume ser fixo em um local enquanto estiver acessando a rede. Se esse se move dentro de um mesmo setor, o usuário é identificado e uma sessão é estabelecida para o mesmo em sua nova posição. O dispositivo usuário pode ser capaz de selecionar a melhor estação rádio base ao ingressar na rede. Durante a prestação do serviço de dados, o dispositivo estará associado a uma mesma estação, célula e setor, onde a reassociação com outro setor ou célula será controlada pela rede.

Acesso portátil

O dispositivo usuário será mantido em operação pela rede quando este estiver em movimento com velocidade pedestre dentro da área de cobertura. Capacidades de *handover* limitadas são permitidas se o dispositivo estiver se movendo para outro setor dentro de mesma célula.

Acesso com mobilidade simples

O dispositivo usuário é mantido em operação pela sessão de serviços de dados da rede para aplicações que não são em tempo real durante seu deslocamento a velocidades veicular (entre 20 e 40 km/h) dentro da área de cobertura. *Handover* entre setores e estações rádio base são permitidos para continuidade de todas as aplicações que não feitas em tempo-real.

Acesso com mobilidade plena

O dispositivo usuário é mantido em operação pela sessão de serviços de dados da rede enquanto está em movimento por altas velocidades veicular (até 120 km/h) dentro da área de cobertura. O desempenho do *handover* é garantido entre setores e estações rádio base para prover a continuidade do serviço para todas as aplicações.

GLOSSÁRIO

Ad-hoc

A modalidade *ad-hoc* permite que dispositivos sem fio de clientes dentro de certa área se identifiquem e comuniquem sem pontos de acessos centrais.

Backhaul

É a porção de uma rede hierárquica de telecomunicações responsável por fazer a ligação entre o núcleo da rede e as subredes periféricas, como no caso de uma única torre de célula que constitui a subrede local, onde a conexão dessa torre ao restante do mundo é feita por um enlace *backhaul* ao núcleo da rede da companhia telefônica [50].

Broadcast

É o processo pelo qual determinada informação pode ser transmitida ou difundida para muitos receptores ao mesmo tempo.

Clutter

É um termo usado para ecos indesejados em sistemas eletrônicos.

DHCP

Dynamic Host Configuration Protocol é um protocolo de serviço TCP/IP que oferece configuração dinâmica de terminais, com concessão de endereços IP de *host* e outros parâmetros de configuração para clientes de rede. Por esse protocolo, um cliente envia um pacote UDP em *broadcasting* com um pedido DHCP. Os servidores DHCP que capturarem este pacote irão responder se o cliente se enquadrar em um dos critérios necessários com um pacote com configurações onde constará, pelo menos, um endereço IP, uma máscara de rede

e dados opcionais, como gateway, servidores de DNS, etc. O protocolo DHCP usa um modelo cliente-servidor, no qual o servidor DHCP mantém o gerenciamento centralizado dos endereços IP usados na rede.

Dual-mode

É a característica de dispositivos que são compatíveis com mais de uma forma de transmissão de dados ou rede.

E1

Circuito operando a 2,048 Mbps utilizado para a transmissão de 30 (trinta) canais de voz ou dados a 64 kbps, de um canal de 64 kbit/s de sinalização e de um canal de 64 kbit/s de alinhamento de quadro e supervisão.

Estação Terminal de Acesso

- Sinalização para Usuários: Conjunto de equipamentos que constituem a estação fixa do Usuário e que permite a sua integração ao STFC [50].
- Sistemas de Acesso sem Fio do STFC: Conjunto de equipamentos que constituem a estação fixa do usuário e que permite a sua integração ao STFC. Ou conjunto de equipamentos que constituem a estação fixa do Usuário e que permite a sua integração ao STFC. A ETA pode ser individual ou coletiva [50].

Estação Terrena

Estação localizada sobre a superfície da Terra ou dentro da atmosfera terrestre que se comunica com uma ou mais estações espaciais ou, ainda, com uma ou mais estações do mesmo tipo por meio de um ou mais satélites refletores ou outros objetos no espaço [50].

Fator *roll-off*

Fator que indica a largura de banda que excede a banda do canal ideal. Quando igual a 1 (um), caso especial, é conhecido como decaimento do cosseno amplo.

Gateway

É um equipamento intermediário geralmente destinado a interligar redes, separar domínios de colisão, ou mesmo traduzir protocolos. Exemplos de *gateway* podem ser roteadores e *firewalls* (que aplica uma política de segurança a um determinado ponto de controle da rede), já que ambos servem de intermediários entre o utilizador e a rede. Um *proxy* também pode ser interpretado como um *gateway* (embora em outro nível, aquele da camada em que opera), já que também serve de intermediário.

Handover

É o procedimento empregado em redes sem fio para tratar a transição de uma chamada de uma célula para outra (ou de canais de uma mesma célula) de forma transparente ao utilizador para estabelecer a continuidade da chamanda quando a estação está em movimento (ou como um método de minimizar a interferencia co-canai) [50]. Também conhecido como *handoff*, o termo *handover* é mais usado na Europa. No *hard handover* o chaveamento do canal fonte é liberado somente quando outro é dedicado na nova célula, e a conexão fonte é bloqueada antes que uma nova seja estabelecida. No *soft handover* o canal fonte é retido e mantido em paralelo com o novo canal, sendo sua conexão bloqueada somente após o estabelecimento da nova conexão.

Host

É qualquer máquina ou computador conectado a uma rede, como computadores pessoais, supercomputadores ou roteadores. Todo *host* na internet precisa obrigatoriamente apontar (representar) um endereço IP.

Hotspot

É o nome dado ao local onde a tecnologia Wi-Fi está disponível. São encontrados geralmente em locais públicos onde é possível conectar-se à Internet utilizando qualquer dispositivo portátil capaz de se comunicar por essa tecnologia.

Ipv4/Ipv6

A versão do protocolo IP designada como versão 4, ou IPv4, utiliza 32 bits para endereçamento. O IPv6 é a versão 6, ou IPv6, tem endereçamento de 128 bits.

Móbile Multihop Relay

Refere-se ao conceito de retransmissão de dados do usuário e, eventualmente, informações de controle entre uma estação rádio base *Mobile Multihop Relay* (MMR) e um dispositivo móvel através de uma ou mais estações retransmissoras. O propósito de permitir a retransmissão é melhorar a cobertura, alcance e capacidade de processamento e, possivelmente, permitir que uma estação rádio base atenda dispositivos de baixa potência aumentando o número de usuários de rede. O adjetivo móvel refere-se a capacidade de suporta ambas as estações de assinantes móveis e estações de retransmissão móveis. É possível estabelecer múltiplas comunicações entre a estação MMR e um dispositivo

móvel para transmitir dados de um do usuário mesmo e/ou informação de controle ou gerenciamento através de diferentes caminhos para melhorar a confiabilidade das comunicações.

Multicast

É a entrega de informação para múltiplos destinatários simultaneamente.

PCMCIA

Personal Computer Memory Card International Association, é um consórcio de empresas de Informática que produziu a especificação homônima para uma interface de 16 bits de expansão de computadores portáteis, e os cartões que usam essa interface. Esse padrão foi sucedido pelo PC Card, de 32 bits. Este barramento é utilizado principalmente em *notebooks* e PDA onde, na maioria das vezes, é o único meio de conectar placas de expansão. Atualmente é possível encontrar praticamente qualquer tipo de dispositivos na forma de placas PCMCIA: modems, placas de som, placas de rede, placas decodificadoras de DVD, cartões de memórias SRAM e memórias Flash e até mesmo discos rígidos removíveis.

PDA

Assistente Pessoal Digital (PDA - *Personal digital assistants*), ou *handhelds*, é um computador dimensões reduzidas, dotado de grande capacidade computacional, cumprindo as funções de agenda e sistema informático de escritório elementar, com possibilidade de interconexão com um computador pessoal e uma rede informática sem fios para acesso a correio eletrônico e internet. Os PDAs de hoje possuem grande quantidade de memória e diversos *softwares* para várias áreas de interesse.

Proxy

É um um servidor que atende a requisições repassando os dados do cliente. Um usuário (cliente) conecta-se a um servidor proxy, requisitando algum serviço, como um arquivo, conexão, website ou outro recurso disponível em outro servidor. Pode também atuar como um servidor de armazenamento de dados e tem uma série de usos, como filtrar conteúdo, providenciar anonimato, entre outros.

Redes Overlay

É uma rede lógica construída sobre uma rede física já existente. Este tipo de rede

é usado comumente para viabilizar aplicações e serviços na Internet. Como exemplo pode-se citar redes P2P (Peer-to-Peer) e a própria Internet, que no início era uma rede de dados sobreposta ao sistema telefônico público e ainda hoje conta com muitas conexões desse tipo.

RFI

Um pedido de informações (RFI – *Request for Information*) é um processo padrão de negócios, cujo objetivo é recolher informação sobre os recursos de vários fornecedores. Normalmente segue um formato que pode ser usado para fins comparativos. Um RFI é usado principalmente para reunir informações para ajudar a tomada de uma decisão. É frequentemente usado em combinação com o seguinte RFP, pedido de concurso e solicitação de cotação. Além de reunir informações básicas, um RFI é frequentemente usado como uma solicitação enviada para uma base ampla de fornecedores potenciais com objetivo de desenvolver a estratégia em questão.

RFP

Request For Proposal, documento que especifica as necessidades e potenciais contratados por companhias internacionais ao solicitar o fornecimento de serviços de Tecnologia da Informação.

Roaming

Designa a habilidade de um usuário de uma rede para obter conectividade em áreas fora da localidade geográfica onde está registrado, ou seja, obtendo conectividade através de uma outra rede onde é visitante. A rede que está sendo visitada pode ou não pertencer a mesma operadora. A realização do *roaming* envolve um processo conhecido como *handover*.

Sistema de Acesso Fixo sem Fio (Serviço Telefônico Fixo Comutado)

Sistema de telecomunicações caracterizado pela utilização de sistema irradiante, constituído de Estações Terminais de Acesso (ETA), associadas a uma Estação Rádio Base (ERB), para a prestação do STFC.

Smartphone

É um telefone celular com funcionalidades avançadas que podem ser estendidas por meio de programas executados no seu sistema operacional que são abertos, o que significa que é possível que qualquer pessoa desenvolva programas que podem funcionar nesses telefones. Usualmente um *smartphone* possui

características mínimas de *hardware* e *software*, sendo as principais: capacidade de conexão com redes de dados para acesso à internet, capacidade de sincronização dos dados do organizador com um computador pessoal e agenda de contatos que utiliza toda a memória disponível no celular (não é limitada a um número fixo de contatos).

Streaming

É uma forma de distribuir informação multimídia numa rede através de pacotes, onde a mídia geralmente é constantemente reproduzida à medida que chega ao usuário se a sua banda for suficiente para reproduzir a mídia em tempo real. Isso permite que um usuário reproduza mídia protegida por direitos autorais na Internet sem a violação dos direitos, similar ao rádio ou televisão aberta. Muitas Rádios via *web* utilizam *streaming* para fazer suas transmissões.

T1

É um método de transmissão digital para multiplexar canais de voz ou de dados em um par de fios utilizado nos Estados Unidos e Japão. (Nos demais países usa-se o E1.) Através da técnica de multiplexação TDM, distribui voz e/ou dados de LAN em subcanais DS0. O benefício primário do T1 é a largura de banda de 1544 Kbps disponível em 24 (vinte e quatro) subcanais DS0 alocados, de 64 Kbps.

Throughput

É a taxa de fluxo de dados ou capacidade de processamento.

Tunelamento

Capacidade de criar conexão entre duas estações, intermediadas por um servidor remoto, fornecendo a capacidade de redirecionar pacotes de dados.

Unicast

É um endereçamento para um pacote feito a um único destino, ou seja, é um processo ponto-a-ponto.