

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

RODRIGO RICART SANTORO

**IMPACTO DAS REDES SEM FIO (WLANS) NAS REDES MÓVEIS
CELULARES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Mauro Soares de Assis – Notório Saber.

Rio de Janeiro

2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

c2005

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro - RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

S237 Santoro, Rodrigo Ricart.

IMPACTO DAS REDES SEM FIO (WLANS)
NAS REDES MÓVEIS CELULARES / Rodrigo Ricart Santoro.

- Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia,
2005.

151p.: il., Graf., tab.

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de
Engenharia – Rio de Janeiro, 2005.

1. Telefonia Celular. 2. Redes Móveis.
I. Título. II. Instituto Militar de Engenharia.

CDD 621.38456

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

RODRIGO RICART SANTORO

**IMPACTO DAS REDES SEM FIO (WLANS) NAS REDES MÓVEIS
CELULARES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Mauro Soares de Assis – Notório Saber.

Aprovada em 21 de Dezembro de 2005 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Mauro Soares de Assis – Notório Saber

Prof Maj. Mauricio Henrique Dias – D.C. do IME

Prof Luiz Alencar da Silva Mello – D.C. da PUC

Rio de Janeiro

2005

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Mauro Soares de Assis, pela atenção e profissionalismo com que acompanhou a realização deste trabalho e, sobretudo, pela grande amizade e incentivo que muito contribuíram para que eu o concluísse com êxito.

Aos meus amigos e colegas de pesquisa, pelo apoio e pelo convívio amigável durante a minha estadia neste Instituto que é um verdadeiro valhacouto do saber.

A todos os professores e funcionários da Seção de Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, especialmente à Lourdes, que contribuíram, de várias formas, para a realização deste trabalho de pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Especialmente à minha mãe, e em memória de meu pai, que foram verdadeiras fontes de apoio e de inspiração para mim.

Agradeço também especialmente a Deus que me proporcionou esta grandiosa e fortuita passagem pelo Instituto Militar de Engenharia.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	09
LISTA DE TABELAS.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Introdução Histórica.....	14
1.2. Motivação e Objetivo do Trabalho.....	19
1.3. Organização da Dissertação.....	20
1.4. Aspectos Físicos das Redes Móveis Celulares.....	21
1.5. Conceitos de propagação para ambientes celulares.....	24
1.5.1. Propagação Multipercurso em pequena escala.....	25
1.5.2. Fatores que influenciam no desvanecimento em pequena escala.....	26
1.5.3. Tipos de desvanecimento em pequena escala.....	27
1.5.4. Desvanecimento em pequena escala baseado em Espalhamento Doppler.....	28
1.6. AMPS (Advanced Mobile Phone System).....	29
1.7. D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System).....	31
1.7.1. IS – 54.....	31
1.7.2. IS – 136.....	32
2. SISTEMA GSM.....	34
2.1. Estação Móvel (EM).....	34
2.2. Subsistema de Estação Base (BSS).....	35
2.3. Mobile-services Switching Center (MSC).....	35
2.4. Home Location Register (HLR).....	36
2.5. Visitor Location Register (VLR).....	36
2.6. Authentication Center (AUC).....	37
2.7. Equipment Identity Register (EIR).....	37
2.8. Operational and Maintenance Center (OMC).....	37
2.9. Características da Interface aérea no GSM.....	38
2.10. Canalização.....	38

2.11.	Modulação.....	39
2.12.	Capacidade do GSM.....	39
2.13.	Serviços Oferecidos no GSM.....	40
2.13.1.	Bearer Services.....	40
2.13.2.	Teleservices.....	41
2.13.3.	Serviços suplementares.....	41
2.13.4.	Serviços de Localização.....	41
2.14.	GPRS – General Packet Radio Service.....	42
2.14.1.	Cobertura GSM/GPRS no Mundo.....	44
2.15.	EDGE – Enhanced Datarates for GSM Evolution.....	47
2.15.1.	Cobertura do EDGE no Mundo.....	49
3.	SISTEMA IS-95.....	51
3.1.	Espalhamento Espectral do enlace direto.....	53
3.2.	Caracterização dos canais do enlace direto.....	54
3.3.	Espalhamento Espectral do enlace reverso.....	56
3.4.	Caracterização dos canais do enlace reverso.....	57
3.5.	Modulação.....	59
3.6.	Processamento de chamadas no sistema IS-95.....	60
3.7.	Tipos de Handoffs do CDMA.....	62
3.7.1.	Soft Handoff.....	62
3.7.2.	Hard Handoff.....	63
3.8.	Controle de potência do sistema CDMA.....	64
3.9.	Cobertura CDMA.....	65
4.	IMT-2000 – OS SISTEMAS DE TERCEIRA GERAÇÃO CELULAR.....	67
4.1.	Sistema WCDMA ou UMTS.....	69
4.1.1.	Principais características da parte física a rede UMTS.....	70
4.1.2.	Arquitetura básica da rede UMTS.....	71
4.1.3.	RNC-Radio Network Controller.....	72
4.1.3.1.	SRNC - Servidor RNC.....	72
4.1.3.2.	DRNC - Drift RNC.....	73
4.1.4.	Taxa de transmissão do enlace reverso do WCDMA.....	74

4.1.5.	Taxa de transmissão do enlace direto do WCDMA.....	75
4.1.6.	Cobertura atual do WCDMA no Mundo.....	76
4.2.	Sistema CDMA 2000.....	77
4.2.1.	CDMA 2000 1x.....	78
4.2.2.	CDMA 2000 1xEV ou HDR (High Data Rate).....	79
4.2.3.	Visão geral do sistema.....	80
4.2.4.	Enlace direto – Taxas do canal F-FCH, N=1, RS1.....	83
4.2.5.	Enlace direto – Taxas do canal F-SCH, N=1, RS1 e RS2.....	84
4.2.6.	Enlace reverso – Taxas do canal R-FCH, N=1, RS1 e RS2.....	85
4.2.7.	Cobertura CDMA 2000.....	87
5.	SISTEMA WLAN.....	88
5.1.	O começo da WLAN no Mundo.....	90
5.2.	Aplicações no mercado privado das WLANs.....	91
5.3.	Aplicações no mercado público das WLANS (PWLAN).....	93
5.4.	As faixas para WLAN ou PWLAN.....	93
5.5.	WLAN em 900MHz.....	94
5.6.	WLAN em 2.4GHz.....	95
5.7.	WLAN em 5GHz.....	98
5.8.	Resumo dos padrões pra WLAN.....	99
5.9.	Os sistemas wireless e suas reais aplicações.....	99
5.10.	Tecnologia ponto-a-ponto sem fio.....	100
5.11.	Estrutura de WLAN utilizando Ponto de Acesso (AP).....	101
5.12.	Tipos de configurações.....	103
5.12.1.	Topologia unicelular.....	103
5.12.2.	Topologia com superposição celular.....	103
5.12.3.	Topologia multicelular.....	104
5.12.4.	Topologia com múltiplo salto (MULTI-HOP).....	105
5.13.	Interferências Intersistêmicas.....	106
5.14.	Técnicas de redução de interferências em ambiente WLAN.....	108
5.15.	Aspectos de tráfego nas WLANs.....	109
5.16.	Cobertura WLAN.....	110

6.	CONVERGÊNCIA ENTRE REDES MÓVEIS CELULARES E WLANs (REDES HÍBRIDAS)	111
6.1.	Categorias de serviços para as redes celulares e WLANs.....	113
6.2.	Análise entre cobertura e capacidade.....	115
6.3.	Proposta de utilização.....	117
6.4.	Propostas de Handoff para a convergência.....	119
6.4.1.	Análise da convergência por parte das sem.....	119
6.4.2.	Análise da convergência pelo aspecto físico da rede.....	124
7.	ESTUDO DE CASOS	127
7.1.	Caso 1 – Convergência entre redes GSM/GPRS/EDGE e WLANs.....	127
7.2.	Caso 2 – Convergência entre redes CDMA 2000 e WLANs.....	129
7.3.	Considerações adicionais.....	131
8.	CONCLUSÃO	132
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
A .	APÊNDICES	137
A.1.	Perspectivas das redes sem fio para as gerações móveis seguintes.....	138
A .1.1.	WIMAX - IEEE-802.16.....	139
A.1.2.	WIMAX – Fórum.....	140
A.1.3.	Expectativas do WIMAX.....	141
A .1.4.	Previsão de Espectro para o WIMAX	142
A .2.	Expectativas para a 4G.....	144
A .2.1.	UWB.....	145
A .2.2.	Técnica MIMO (Multiple Input Multiple Output).....	147
A .2.3.	Antenas Inteligentes (Smart Antennas).....	147
A .2.4.	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	148
	GLOSSÁRIO – TERMOS TÉCNICOS E EXPRESSÕES USADAS	150

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 1.1	Estrutura básica das redes móveis.....	22
FIG. 1.2	Estrutura de rede híbrida.....	24
FIG. 1.3	Efeito multipercurso.....	29
FIG. 2.1	Arquitetura de rede GSM.....	34
FIG. 2.2	Esquema parte fixa da rede GSM.....	41
FIG. 2.3	Estrutura de rede GSM com suporte e serviço GPRS.....	43
FIG. 2.4	Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na Europa.....	44
FIG. 2.5	Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na América do Norte e Central.....	45
FIG. 2.6	Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na Ásia.....	45
FIG. 2.7	Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na África.....	46
FIG. 2.8	Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na Oceania.....	46
FIG. 2.9	Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na América do Sul.....	47
FIG. 2.10	Compatibilidade GPRS x EDGE na rede GSM.....	48
FIG. 2.11	Rede EDGE no Mundo.....	49
FIG. 3.1	Conceituação de ortogonalidade e espalhamento espectral.....	52
FIG. 3.2	Matriz de Walsh-Hadamard.....	52
FIG. 3.3	Geração de seqüência pseudo-aleatória (PN).....	53
FIG. 3.4	Espalhamento no enlace direto.....	54
FIG. 3.5	Espalhamento no canal de sincronismo.....	55
FIG. 3.6	Espalhamento no canal de paging.....	55
FIG. 3.7	Espalhamento no canal de tráfego.....	56
FIG. 3.8	Espalhamento no enlace reverso.....	57
FIG. 3.9	Espalhamento no canal de acesso.....	58
FIG. 3.10	Espalhamento no canal de tráfego.....	59
FIG. 3.11	Processamento de chamadas do CDMA.....	60
FIG. 3.12	Controle de potência no CDMA.....	64
FIG. 3.13	Penetração Mundial das diversas técnicas móveis.....	66
FIG. 4.1	Panorama das comunicações móveis.....	68
FIG. 4.2	Comparação entre estrutura de rede GSM e UMTS.....	71
FIG. 4.3	Características da rede UMTS.....	72

FIG. 4.4	Evolução do CDMA.....	77
FIG. 4.5	CDMA 2000.....	80
FIG. 5.1	Redes WLANs.....	89
FIG. 5.2	Elementos básicos de uma WLAN.....	90
FIG. 5.3	Aplicação WLAN no mercado corporativo.....	92
FIG. 5.4	WLANs com entroncamento sem fio entre filiais.....	92
FIG. 5.5	Faixas de freqüências para WLAN no Brasil.....	94
FIG. 5.6	Espalhamento espectral por salto em freqüência.....	94
FIG. 5.7	Padrões em 2.4GHz.....	97
FIG. 5.8	Configuração ponto-a-ponto.....	101
FIG. 5.9	Estrutura com Ponto de Acesso (AP).....	102
FIG. 5.10	Tipos de terminais APs.....	102
FIG. 5.11	Estação de trabalho funcionando como AP.....	102
FIG. 5.12	Topologia unicelular.....	103
FIG. 5.13	Cobertura com superposição celular.....	104
FIG. 5.14	Topologia multicelular.....	105
FIG. 5.15	Topologia múltiplo salto.....	106
FIG. 5.16	Modelo de cobertura.....	109
FIG. 6.1	Previsão tecnológica das redes móveis.....	114
FIG. 6.2	Cobertura x capacidade em ambiente sem fio.....	116
FIG. 6.3	Previsão sobre integração WLAN com redes móveis e fixa.....	117
FIG. 6.4	Exemplificação dos diferentes backbones em convergência.....	118
FIG. 6.5	Fluxograma de processos de estabelecimento de conexão e handoff....	121
FIG. 6.7	Gerenciamento e controle de handoff entre sistemas pela parte fixa da rede.....	126
FIG. A .1	Perspectiva de futuro nas comunicações móveis sem fio.....	138
FIG. A .2	Os padrões WLAN.....	139
FIG. A .3	WIMAX ou IEEE-802.16.....	141
FIG. A .4	Aplicações previstas para o UWB.....	146

LISTAS DE TABELAS

TAB. 2.1	Interface aérea GSM.....	38
TAB. 2.2	Especificação TDMA do sistema GSM.....	39
TAB. 2.3	Classes de taxas do GPRS.....	43
TAB. 2.4	Comparativo entre GPRS e EDGE.....	48
TAB. 2.5	Classes de taxas EDGE.....	49
TAB. 3.1	Esquema de modulação QPSK utilizada no CDMA.....	59
TAB. 4.1	Taxas do enlace reverso no UMTS.....	74
TAB. 4.2	Taxa x esquema de modulação no enlace direto.....	75
TAB. 4.3	CDMA 2000 EV – Cana fundamental no enlace direto.....	83
TAB. 4.4	CDMA 2000 EV – Cana suplementar no enlace direto RS1.....	84
TAB. 4.5	CDMA 2000 EV – Cana suplementar no enlace direto RS2.....	85
TAB. 4.6	CDMA 2000 EV – Cana fundamental no enlace reverso – RS1.....	85
TAB. 4.7	CDMA 2000 EV – Cana fundamental no enlace reverso – RS2.....	86
TAB. 5.1	Padrão IEEE-802.11.....	88
TAB. 5.2	Faixa de 2.4GHz no Mundo.....	97
TAB. 5.3	Padrões WLAN pelo IEEE.....	98
TAB. 5.4	Planejamento de frequências WLAN.....	108
TAB. 5.5	Exemplo de cálculo de capacidade de uma rede WLAN.....	109
TAB. A .1	Especificações WMAN.....	140
TAB. A .2	Espectro WIMAX.....	143

RESUMO

Os sistemas de telefonia móvel celular, desde sua primeira aparição, vêm passando por sucessivas fases de amadurecimento, que precedem os passos a serem tomados atualmente no seu perfil de evolução. Principalmente a técnica GSM, que está presente na maioria dos países, devido a suas vantagens funcionais em relação às outras técnicas concorrentes, busca uma alternativa mais sustentável para oferecer serviços de dados em altas taxas a seus usuários, sem necessariamente ter de partir para a implementação custosa e incerta dos sistemas sucessores de Terceira Geração.

Com o surgimento das poderosas técnicas de Redes Locais Sem Fio (WLANs), que provêm excelente capacidade na vazão de dados compartilhado entre vários usuários móveis, estas expectativas de solução alternativa para a evolução destas redes móveis ficaram ainda mais evidentes, pois funcionam como o maior incentivo para que as operadoras de telefonia móvel celular, invistam no aprimoramento de suas redes existentes, para que estas, com as adaptações necessárias, possam permanecer eficientes ainda por bastante tempo, preservando o grau de investimento dos operadores, sem prejudicar a qualidade e a expectativa dos serviços prestados aos seus usuários móveis.

A dissertação baseou-se fundamentalmente neste assunto em evidência internacional e propõe, através da formalização detalhada de tecnologias móveis celulares e WLANs, estudos de casos, avaliações técnicas e análises críticas conclusivas entre as principais redes móveis celulares de segunda e terceira gerações, funcionando em perfeita harmonia, interoperabilidade e compatibilidade convergente com as WLANs.

ABSTRACT

The Mobile Cellular System, since its first appearance, has been through sequential mature phases, that strategically foresees its steps to be taken on the right way for technical evolution. Mainly the GSM, which is the most popular mobile system throughout many countries around the world, due to its intrinsic advantages among the others mobile technologies services, is searching for a better alternative to offer high speed data services to its mobile users, without necessarily implement the most uncertain and expensive Third Generation System as its successor.

With the powerful emerging WLAN systems, which provides excellent high speed data services shared between several real time users, those expectations of alternative evolution for the mobile networks became even more concrete, because it showed as a greater incentive for the Mobile System Operators to softly invest on the improvement of the actual mobile network to make it work with total interoperability with WLANs, in order to provide better data rates and meets customers satisfaction for the services available.

This dissertation is fundamentally based on this evident subject and propose, throughout its detailed development of the involved technologies, killer applications, technical evaluations and critical/conclusive views about the second and third mobile generation, working in perfect harmony, interoperability and convergent compatibility with Wireless Local Area Networks (WLANs).

1. INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA

Na década de 80, com a abertura dos mercados mundiais, o Mundo representado principalmente pelas grandes potências econômicas da época, encontrava-se em franca adaptação, devido às novas tendências da era da Globalização que emergiam. Concorrente a esta realidade e devido à propulsão de alguns países ricos para a conquista de novos mercados consumidores, a área de telecomunicações não podia deixar de ser igualmente aprimorada, pois sem o seu desenvolvimento, as relações comerciais não iriam corresponder às expectativas da nova era que surgia.

Começou então a corrida tecnológica que abrangia todos os segmentos: enlaces em Rádio-Freqüência, Óptico, Satélite etc. Os enlaces de microondas começaram a ser utilizados em grande escala para uso comercial, devido a fácil instalação, ao baixo custo de implementação e à possibilidade de atingir razoável alcance, facilitando comunicações do tipo ponto-a-ponto. Mesmo assim, não se resolveu o problema definitivamente, quando se desejava realizar comunicações entre distâncias muito grandes, como entre continentes; rapidamente foi desenvolvido o cabo óptico, que por enlaces submarinos entre continentes, revolucionou o mercado em termos de capacidade e qualidade, apesar do alto custo de implementação.

Nesta mesma época, os caros e já conhecidos serviços via satélites começam a perder força como via principal e única na comunicação entre continentes e passaram a ter aplicações específicas. Começou a haver uma verdadeira revolução no mercado tecnológico internacional.

No decorrer deste panorama conturbado e mutante das telecomunicações, em meio a tantas novas tecnologias que surgiam, facilitando a comunicação entre

longas distâncias, a comunicação pessoal não poderia deixar de apresentar sua parcela de contribuição, pois, até então, somente dispúnhamos de serviços de telefonia fixa, com número limitado de assinantes, e nenhum tipo de segurança/sigilo na conversação, devido à tecnologia ainda ser analógica.

Todo o cenário mundial pressionava a locomotiva das comunicações pessoais a fim de que houvesse uma melhora significativa também nesta área de serviços, mesmo porque, estávamos entrando numa fase onde capacidade deixava de ser escassa e passou a ser a motivação para o desenvolvimento de novos serviços para o consumo, o que definitivamente marcou o início da era digital.

Uma das melhores iniciativas de avanço nas comunicações pessoais ocorreu entre as décadas de 70 e 80, quando foi lançado nos EUA o primeiro serviço de telefonia móvel analógico, com número limitado de canais disponíveis para atender uma certa fatia seleta de usuários. Nesta época, o organismo regulador das Telecomunicações Norte-americanas (FCC) não se mostrava muito interessado nesta área, tanto que apenas regulamentou inicialmente uma estreita faixa de espectro de frequência, pois na época já estava começando a ficar escasso com as inúmeras aplicações em radiodifusão.

Logo que entrou em operação, tamanho foi o sucesso deste novo serviço, que logo gerou lista de espera para novas linhas, causando enorme pressão da sociedade para o aprimoramento e expansão da nova tecnologia.

Algum tempo mais tarde, com o surgimento da internet, todos os ramos das telecomunicações começaram a convergir suas plataformas para prover serviços via protocolo Internet (IP). Na telefonia móvel aconteceu de forma similar, rapidamente ocorreu sua evolução para a era digital, disponibilizando serviços de voz e dados, a taxas limitadas, devido às restrições não somente tecnológicas, mas também físicas que são próprias da propagação em canais móveis.

Mesmo assim, a telefonia móvel adquiriu força e predileção pelos usuários, pois em curto espaço de tempo, devido à viabilidade das técnicas digitais, tornou-se um dos ramos mais disputados pelos operadores para exploração serviços, haja vista que o número de terminais operantes no mundo já chega a ameaçar a ordem de grandeza de toda a existência histórica da telefonia fixa.

Embora pareçam promissoras e de ganhos inestimáveis, as redes móveis, assim como outros segmentos qualquer em Rádio-Frequência (RF), são tecnologias

que mais necessitam de planejamento e maturidade para a sua implantação, devido principalmente ao alto custo envolvido em sua infra-estrutura básica de operação. Talvez este seja um dos principais motivos (excetuando as limitações físicas do canal) pelos quais se pode presenciar uma defasagem maior na velocidade da evolução dos serviços de dados das redes móveis celulares, quando comparados com a velocidade da evolução em uma rede fixa.

Em uma rede corporativa *ethernet* (10 Mbps), por exemplo, o custo para se migrar, seguindo sua escala de última geração - o *Gigabit Ethernet* (1000 Mbps), é bastante baixo e de nenhum risco se comparado aos custos envolvidos nas evoluções das gerações das redes móveis, que possuem um alto risco, devido às mudanças de tecnologias de acesso, que em alguns casos mais críticos, forçam o operador da rede a modificar toda sua estrutura de Estações Rádio-Base e Estações Móveis (EM) de usuários, sem levar em conta o custo adicional despendido em novas licenças para se poder operar em uma nova faixa do espectro de frequências.

Tudo isso para manter a continuidade no serviço prestado e propiciar uma evolução na rede de forma o mais suave possível. Desta forma, conclui-se que, por inúmeros motivos, as decisões de quando e como evoluir a rede móvel devem ser maduras, pois as conseqüências podem ser irreversíveis para o operador da rede.

Atualmente no Brasil, bem como em grande parte do mundo, as redes móveis celulares encontram-se ainda na Segunda Geração evoluída, apesar de já estarem totalmente previstas e determinadas as tecnologias de Terceira Geração, inclusive em operação em algumas partes do Mundo.

O maior limitante no processo de evolução das redes móveis é a baixa expectativa de mercado para os operadores, frente ao custo de implementação destas modernas redes, pois alguns indicadores importantes de mercado como: expectativa reduzida na procura dos serviços de dados disponíveis de Segunda Geração (GSM/GPRS); serviços de voz mantendo expressiva e majoritária participação no faturamento das operadoras e, principalmente, o baixo ganho prático na taxa de dados que se obtém com as tecnologias de Terceira Geração Móveis, são os principais indicadores negativos que freiam o curso natural desta evolução.

Paralelamente a este panorama conturbado e incerto na evolução das redes móveis, surge uma nova tecnologia, sem nenhuma concorrência direta com o setor celular, mas que, devido à magnitude de suas promessas e positiva aceitação de

mercado, gerou uma possibilidade a mais, e com maior relevância, sobre o real rumo na evolução das redes de telefonia móvel. São as assim conhecidas como as WLANs (Redes locais sem fios).

As WLANs surgiram embrionariamente nos laboratórios de Tecnologia da Informação (TI), na tentativa de se propiciar flexibilidade no acesso às redes de dados de um ambiente qualquer de trabalho, além de torná-lo mais limpo e livre dos excessos de cabos que o congestionam e o poluem visualmente. Obviamente que a taxa de dados praticada no ambiente sem fio deve ser razoável, pois de nada adiantaria a despoluição e flexibilidade no ambiente de trabalho, sem manter a tradicional funcionalidade das redes fixas já consagradas.

Como síntese final deste desenvolvimento, tem-se redes corporativas com acesso sem fio compartilhado, em qualquer ponto do ambiente de cobertura, com altas taxas de dados. O mais interessante dessas redes sem fio é sua tamanha semelhança com a infra-estrutura das redes móveis. Os pontos de acesso (AP) das WLANs muito se assemelham com as bases transceptoras das células nos sistemas móveis, inclusive em seu diagrama de cobertura apresentar-se sob a forma de células. Suas maiores vantagens são, até então, as altas taxas de dados, que são compartilhadas entre um número razoável de usuários, baixo custo de implementação e operação nas faixas ISM, onde não há necessidade de outorga para exploração de serviços, apenas deve-se respeitar os níveis de potência das máscaras espectrais preestabelecidas pelas agências reguladoras (ANATEL no caso específico do Brasil).

As WLANs surtiram um impacto muito otimista e positivo no meio tecnológico, pois sinalizaram à sociedade como uma opção de baixíssimo custo e bastante eficaz para solucionar, de forma alternativa, alguns problemas que limitam os serviços de dados das redes móveis celulares. Pois os operadores, com pouco investimento conseguirão oferecer, em regiões estratégicas e com grande demanda para tráfego de dados (serviços de internet móvel em banda larga), com capacidade para atenderem grande número de usuários com qualidade de serviço (QoS), além de não terem de disponibilizar os tradicionais canais de voz para uso em tráfego de dados. O que freqüentemente compromete a capacidade e disponibilidade dos serviços de voz, que ainda correspondem a maior parcela de seu faturamento bruto sustentável.

Com esta proposta, a rede móvel passará a ser híbrida (Celular+WLAN), de forma que, para um usuário de dados, a comutação entre uma e outra tecnologia ocorra de maneira suave e imperceptível, a menos de uma provável redução em sua vazão de dados.

Para o caso de um usuário que desejar se afastar demais do ponto de acesso (AP) dentro da célula de alcance da WLAN, a rede móvel deve atuar de forma a garantir a continuidade do serviço no atendimento deste usuário, mesmo que tenha de ser sob a forma tradicional, já encontrada nas redes móveis atuais (2G ou 3G), mantendo assim, uma continuidade essencial na prestação dos serviços de dados de seus usuários.

Desta forma, as operadoras das redes móveis terão maior tempo para amadurecerem a idéia de evolução e migração de sua rede com maior prazo e tranqüilidade, até mesmo para que seja possível inclusive uma migração direta para uma provável Quarta Geração mais eficiente e suavizada, sem ter de experimentar as incertezas já vivenciadas frente à Terceira Geração.

Após esta fase de expectativa inicial, a comunidade científica decidiu concentrar esforços e continuar a desenvolver pesquisas, para o aprimoramento das técnicas de acesso das WLANs, com intuito de apresentar uma aplicação para tráfego de dados compartilhado da ordem de centenas de Mbps, onde seja possível utilizá-las inclusive em ambientes externos (*outdoors*), com raio de alcance nas células da ordem de quilômetros, e não somente metros, como já se obtém em prática nas WLANs atuais.

Fica bastante claro que os níveis de potência do sinal de transmissão desta nova fase das WLANs deverão ser mais elevados, para que se permita compensar perdas de propagação. Devido a este motivo, a faixa de espectro de freqüências provavelmente não mais compartilhará a faixa ISM.

A maior motivação da comunidade tecnológica é que com bastante difusão, pesquisa e debate sobre esta nova tecnologia, chegue-se a um consenso sobre a utilização uniforme do espectro de freqüências, a fim de que, com isso, seja possível obter, finalmente, acordos viáveis de cobertura internacional (*roaming*), em termos de compatibilidade de espectro de freqüências e uniformidade de tecnologia de acesso. Por fim, lançar mais um passo marcante na história da evolução das redes móveis celulares.

1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVO DO TRABALHO

Devido ao grande sucesso e aceitação dos serviços móveis celulares de segunda geração, aliado a migração pouco suavizada da segunda geração (GSM) para a terceira Geração (WCDMA) e também devido ao natural aparecimento e excelente aceitação das Redes Locais Sem Fio (WLANs) pelos usuários, surge a proposta de utilização convergente de redes móveis celulares de segunda geração evoluída em conjunto com WLANs, a fim de oferecer de forma alternativa e a um custo extremamente reduzido, capacidade de tráfego de dados superiores aos oferecidos pela terceira geração celular, que atualmente encontram-se apenas implementadas em algumas regiões do conjunto universo das redes GSM operantes no mundo.

Atualmente este assunto tem despertado tamanho interesse no âmbito científico que inúmeras publicações no âmbito internacional, tem sido feitas apostando positivamente na proposta de convergência (ALVEN, 2001; HONKASALO, 2002; RAPPAPORT, 2002; LEHR, 2003).

O presente trabalho se insere neste contexto e tem como principal objetivo, a formulação de uma proposta de convergência entre as redes móveis celulares e redes locais sem fio, confrontando as principais diferenças entre as técnicas de acesso das redes celulares de segunda geração evoluída e de terceira geração. Bem como comparar as taxas de dados máximas atingidas em cada técnica, sempre com o compromisso de que se prove o real ganho efetivo atingido com a utilização convergente entre redes celulares e WLANs, propiciando ao leitor uma melhor perspectiva de entendimento e eficácia desta nova tendência mundial no rumo da evolução das redes móveis celulares e sem fio para as próximas gerações.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Nas Seções seguintes do capítulo 1, serão apresentados aspectos físicos básicos de uma rede móvel e conceitos teóricos para a caracterização dos efeitos de propagação a que estão sujeitos os canais móveis, definindo variados agentes perturbadores mais comumente encontrados nas comunicações móveis celulares. Ainda no capítulo 1, as seções finais são reservadas para a apresentação do primeiro sistema móvel analógico (AMPS) e sua natural evolução para a era digital com o sistema DAMPS (IS-54 e IS-136).

No capítulo 2, é mostrado o sistema GSM como sendo a evolução dos sistemas TDMA's digitais, exaltando todas as suas funcionalidades e características de especificação e de funcionamento, bem como sua penetração no mercado internacional.

No capítulo 3, é detalhado o sistema CDMA, determinando características de funcionamento e especificações, bem como sua menos expressiva penetração, porém estratégica, no mercado mundial.

No capítulo 4, são descritas as duas técnicas de acesso de terceira geração. O CDMA 2000 em substituição do CDMA (IS-95) e o WCDMA em substituição do GSM. São abordadas características de funcionamento e especificações. Também é dado enfoque nas novas taxas de dados atingidas com as novas técnicas de acesso.

No capítulo 5, são apresentados os padrões de redes sem fio (WLANs) com especificações do IEEE. Neste capítulo são detalhados aspectos de cobertura, alcance, diferentes topologias de rede sem fio, interferências que limitam as WLANs, faixas de operações, dentre outros aspectos.

No capítulo 6, é feita a proposta de convergência dos diferentes sistemas (Celular+WLANs), apresentando modelos esquemáticos de topologia, análises comparatórias entre a cobertura de redes celulares e redes locais sem fio, buscando sempre atingir a forma mais eficiente de se prover maior taxas de dados para usuários móveis sem fio.

No capítulo 7, são propostos e analisados estudos de casos para solução de convergência das atuais redes móveis celulares com WLANs, levando-se em conta as diferentes taxas de dados obtidas entre as diferentes gerações celulares.

No capítulo 8, são encontradas as conclusões baseadas na análise dos estudos de casos apresentados nesta dissertação, que mostram a tendência natural de evolução que começa a se caracterizar nas variadas regiões do mundo, inclusive no Brasil. Também se encontram neste capítulo algumas propostas para sua continuação.

Por fim, são sugeridas propostas de tendências das redes sem fios para o futuro, onde serão atendidas regiões metropolitanas e não mais somente áreas locais e restritas. São indicados os padrões que se encontram em desenvolvimento pelo IEEE a este respeito, abordando aspectos de cobertura, capacidade e interoperabilidade entre os diferentes sistemas sem fio.

Ainda no capítulo 10, serão apresentadas expectativas de técnicas que serão avaliadas para uma possível evolução para a quarta geração móvel celular. Certamente, todas estas esperanças de evolução estão preocupadas em permitir compatibilidade e interoperabilidade entre todos os padrões sem fio já existentes e os que estão por virem.

1.4. ASPECTOS FÍSICOS DAS REDES MÓVEIS CELULARES

As redes móveis são constituídas basicamente por elementos de comutação, de autenticação, de registro, de interface rádio, além de outros que serão abordados neste capítulo, a fim de dar uma idéia mais evidente da cadeia de dependência funcional destes elementos nas redes móveis. Ver FIG.1.1 a seguir, que mostra em maiores detalhes uma rede básica de telefonia celular.

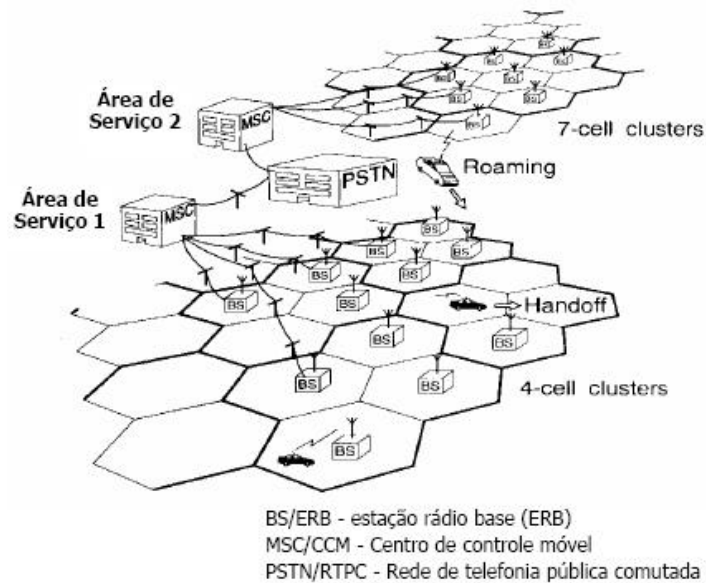


FIG. 1.1 Estrutura básica das redes móveis

O MSC (*Mobile Switching Center*), ou Centro de Controle/Comutação da Rede Móvel é o elemento principal da rede, responsável pelo encaminhamento e controle das chamadas tanto originadas dentro da rede móvel, quanto das chamadas que chegam, via rede fixa, à rede móvel endereçada a um usuário específico. É um elemento do tipo centralizador na rede móvel e portanto, atende a uma região com um grande número de células ativas, até mesmo a clusters da mesma rede. Por isso o MSC é o elemento que necessita de maior esforço computacional no sistema, sendo também o de maior relevância nos critérios de análise e eficiência na comutação de chamadas telefônicas.

O HLR (*Home Location Register*), ou Registrador de Localização de Assinantes Ativos da rede, é o elemento que controla, basicamente, o perfil de cada usuário: se pré ou pós pago, regula os usuário com e sem privilégio em serviços na rede, usuários com acordos de *roaming* etc. É também utilizado para armazenar informações sigilosas sobre chaves criptográficas de cada assinante da rede. Enfim, o HLR é um grande banco de dados que deve ser mantido em sigilo pelo operador, principalmente, como garantia de segurança de sua própria rede. Normalmente está associado ao MSC numa rede móvel e por isso, pode atender a um grande número de células ativas.

O VLR (*Visitor Location Register*), ou Registrador de Localização de Visitantes na rede móvel, é o elemento também associado ao MSC que controla e

garante acesso às redes móveis para usuários não pertencentes a rede. Tais acessos são garantidos entre as operadoras via acordos de *roaming* e, normalmente, não são estendidos a todos os usuários de uma rede, somente àqueles que possuam a autorização de sua rede originária para tal fim.

Vale ressaltar que o VLR possui um banco de dados volátil, pois logo que o usuário visitante se desconectar da área de cobertura, seja por desligamento, ou por migração para outra região de outro operador, o VLR automaticamente o desabilitará de seu banco de dados de usuários visitantes, apesar de ainda permanecerem registrados na rede, o seu período de permanência.

As BTS (*Base Station*), ou ERB – Estação Rádio Base são os elementos das redes móveis responsáveis por viabilizarem a comunicação sem fio entre a parte fixa das redes celulares com as estações móveis ou terminais celulares dos usuários. Através da interface rádio, que para cada uma das tecnologias existentes, correspondem características diferentes em sua técnica de acesso. Nos capítulos mais à frente serão mostradas, com maior nível de detalhamento, as técnicas de acesso existentes.

As PSTNs (Public Switching Telephone Network), ou Rede pública de comutação telefônica são as centrais telefônicas híbridas existentes nas redes de telefonia fixa e móvel, que viabilizam a interconexão entre as diferentes redes de comunicação, permitindo, com isso, a interoperabilidade de chamadas entre as duas redes diferentes. Sejam elas entre redes fixas e móveis ou entre redes móveis de diferentes operadores. É evidente a necessidade de que se utilize um protocolo compatível entre estas conexões, pois do contrário, não seria possível compatibilizar os dois sistemas de princípios tecnológicos tão diferentes.

Para a perfeita operação das redes híbridas, foi instituído que o protocolo de entroncamento seria a sinalização Canal Comum (SS#7), já largamente utilizado nas redes de telefonia fixa. Ver FIG.1.2 abaixo, que ilustra basicamente a estrutura de entroncamento híbrida.

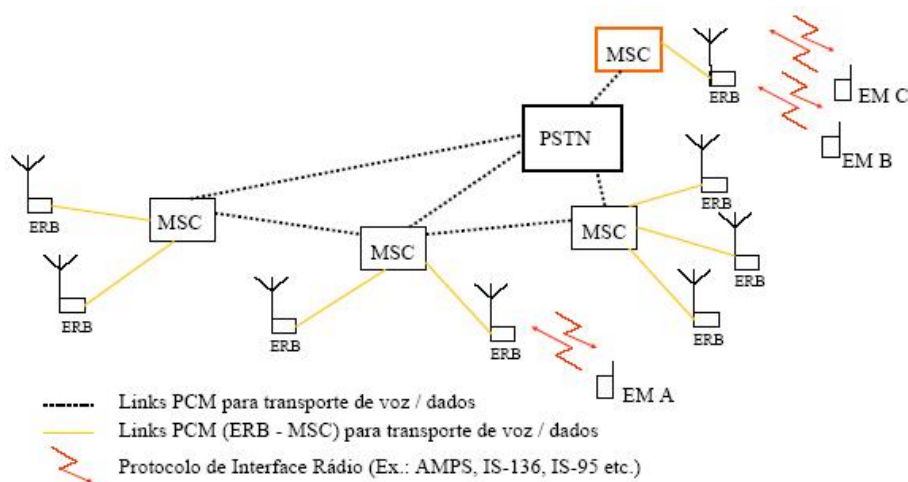


FIG. 1.2 Estrutura de rede híbrida

1.5. CONCEITOS DE PROPAGAÇÃO PARA AMBIENTES CELULARES

Um dos maiores desafios das comunicações sem fio é, sem dúvidas, o meio de propagação, que está sempre sujeito a interferências externas e as condições climáticas adversas, que se modificam constantemente no ambiente de propagação (Rappaport, 1996; PARSONS, 1992). Muito se pesquisou, e ainda se pesquisa a respeito deste assunto, pois o sucesso de qualquer tipo de sistema de comunicação sem fio está no gerenciamento otimizado entre potência, largura de banda e condições de propagação.

Desta forma, não poderia ocorrer de maneira diferente nas redes móveis celulares, pois dentre os sistemas sem fio, a telefonia celular foi a que mais contribuiu no desenvolvimento de estudos de propagação, devido, principalmente, à necessidade de se realizar comunicações cada vez mais eficientes entre base fixa (ERB) e usuários móveis (EMs).

Dentre os parâmetros mais conhecidos, que sempre são levados em consideração nos cálculos dos enlaces rádio, pode-se citar como os mais

tradicionais, a frequência de operação, a distância de alcance, o ganho das antenas, a altura das antenas, a potência de transmissão, os níveis pluviométricos da região, etc.

Na telefonia celular, aparecem outras variáveis adicionais devido à contante mutação da geografia e do ambiente de propagação de uma Estação Móvel - EM (por ser efetivamente móvel). Trazendo outros tipos de perdas que precisam ser levadas em consideração para o correto dimensionamento da rede.

De uma forma geral, em um ambiente celular, o sinal transmitido pela ERB chega ao terminal receptor (EM) por diferentes percursos de propagação, que são determinados por um sinal direto (raio principal) e vários outros oriundos das múltiplas reflexões, refrações, difrações e espalhamentos, que uma parcela deste sinal transmitido pode sofrer. No caso dos receptores móveis, o sinal pode sofrer ainda Desvio Doppler.

Na prática, quando se refere aos tipos de interferências atuantes nos sistemas de propagação para ambientes celulares, utilizam-se os termos: desvanecimento lento, desvanecimento rápido, atenuação e Multipercurso.

Desvanecimento em pequena escala ou simplesmente desvanecimento é o conceito utilizado para descrever as rápidas flutuações de amplitude de um sinal rádio em um pequeno intervalo de tempo ou distância de propagação. O desvanecimento é causado por interferências entre no mínimo duas versões do mesmo sinal transmitido que chegam ao receptor em intervalos de tempo um pouco diferentes. São conhecidas como Ondas Multipercurso que, quando combinadas no receptor, podem apresentar grandes variações em fase e amplitude no sinal de interesse, dependendo da distribuição, da intensidade e tempo de propagação relativo destas ondas e também da largura de banda do sinal transmitido.

1.5.1. PROPAGAÇÃO MULTIPERCURSO EM PEQUENA ESCALA

O multipercurso em canais rádio produzem efeitos de desvanecimento em pequena escala. Os mais relevantes são:

- Rápidas modificações na amplitude do sinal em uma pequena distância percorrida ou em um intervalo de tempo pequeno;
- Modulação em frequência aleatória em função de haver variações do desvio Doppler nos diferentes sinais multipercursos;
- Dispersão no tempo (ECO) causado por retardos de propagação multipercurso.

O sinal recebido por uma EM em qualquer ponto no espaço pode conter uma enorme quantidade de ondas planas com amplitudes, fases e ângulos de chegada distribuídos aleatoriamente. Estes componentes são combinados vetorialmente no receptor e podem resultar em distorções e desvanecimentos do sinal que foi transmitido. Mesmo que a EM esteja parada, estes efeitos ocorrem devido aos objetos ao redor serem móveis, por exemplo, automóveis, pessoas, pássaros, etc.

1.5.2. FATORES QUE INFLUENCIAM NO DESVANECIMENTO EM PEQUENA ESCALA

Muitos são os fatores físicos no canal de propagação que influenciam o desvanecimento em pequena escala:

- Propagação Multipercurso – A presença de objetos refletores e espalhadores no canal criam um ambiente em constante mudança, que dissipam a energia do sinal tanto em amplitude, quanto em fase e no tempo. Tais efeitos resultam em múltiplas versões do sinal transmitido que chegam ao receptor deslocados uns dos outros, no espaço e no tempo. A característica aleatória de fase e amplitude encontrada nas diferentes versões multipercurso, causam flutuações nas características originais do sinal, gerando desvanecimento em pequena escala, distorção do sinal, ou ambos.
- Velocidade da EM – O movimento relativo entre EM e ERB resulta em modulação em frequência aleatória em função dos diferentes desvios dopplers encontrados

em cada componente do multipercurso. O desvio doppler será positivo ou negativo dependendo se a EM estiver se movimentando no sentido da ERB ou se afastando dela respectivamente.

- Velocidades dos objetos ao redor – Se os objetos no canal rádio móvel estiverem em movimento, induzem desvio doppler variante no tempo nas componentes multipercurso. Se os objetos móveis estiverem se movendo com velocidade maior que a EM, então os efeitos serão caracterizados pelo desvanecimento em pequena escala. Se as velocidades dos objetos forem menores que da EM, então os objetos serão considerados estáticos e somente a velocidade da EM será levada em conta.
- Largura de banda de transmissão do sinal – Se a largura de banda do sinal transmitido for maior que a largura de banda do sinal multipercurso, o sinal recebido será distorcido, mas a forma e amplitude do sinal recebido não irão sofrer graves efeitos de desvanecimento em uma área local. Na literatura sobre o assunto, encontrar-se-á a terminologia banda de coerência para tratar deste efeito, que é relativo à largura de banda do sinal em função da largura de banda do canal multipercurso.

1.5.3. TIPOS DE DESVANECIMENTO EM EM PEQUENA ESCALA

Desvanecimento em pequena escala baseado em espalhamento multipercurso com retardo no tempo.

- Desvanecimento plano – Caso em que o canal rádio móvel possui ganho constante e resposta de fase linear sobre uma largura de banda maior do que a largura de banda do sinal transmitido. É o mais comum tipo de desvanecimento que existe, pois a estrutura multipercurso do canal é tal que as características do sinal transmitido são preservadas no receptor. Entretanto a amplitude do sinal

apresenta flutuações em função do tempo, em razão de flutuações no ganho do canal causados pelo multipercurso.

- Desvanecimento seletivo em frequência – Se o canal possuir ganho constante e resposta em fase linear em uma largura de banda menor que a largura de banda do sinal, então o canal gera desvanecimento seletivo em frequência no sinal do receptor. Sob estas condições a resposta ao impulso do canal possui um retardo por espalhamento multipercurso que é maior do que a largura de banda da forma de onda da mensagem transmitida. Quando isso ocorre, o sinal recebido possui múltiplas versões da forma de onda transmitida que sofre atenuação e retardo no tempo, distorcendo o sinal no extremo receptor. O desvanecimento seletivo em frequência é relacionado com a dispersão temporal dos símbolos transmitidos pelo canal. Logo, o canal induz interferência intersimbólica. No domínio da frequência, certas componentes de frequências, no espectro do sinal recebido, têm maiores ganhos que outras.

1.5.4. DESVANECIMENTO EM PEQUENA ESCALA BASEADO EM ESPALHAMENTO DOPPLER

- Desvanecimento rápido – Dependendo de quão rapidamente os sinais transmitidos em banda básica se modificam quando comparados à taxa de modificação do canal, um canal pode ser determinado como sendo de desvanecimento rápido ou lento. No desvanecimento rápido, a resposta ao impulso do canal muda rapidamente durante a existência de um símbolo. Isto significa dizer que o tempo de coerência do canal é menor que o período do símbolo do sinal transmitido. Este efeito causa dispersão em frequência em função do espalhamento doppler, que gera distorção. No domínio da frequência, distorção do sinal por desvanecimento rápido aumenta com o aumento do espalhamento Doppler em relação à largura de banda do sinal transmitido.

- Desvanecimento lento – A resposta ao impulso do canal muda com velocidade muito menor do que a velocidade que o sinal em banda básica transmitido se modifica. Neste caso, o canal pode ser considerado estático durante um ou vários intervalos de largura de banda recíprocos. No domínio da freqüência, isto implica que o espalhamento doppler do canal é muito menor que a largura de banda do sinal em banda básica transmitido.

Devido às inúmeras possibilidades de multipercursos, aos quais o sinal é sempre submetido de forma aleatória, desde o transmissor até o receptor das redes móveis, o sinal resultante é um somatório de sinais com retardos mútuos relativos, que geram um espalhamento proporcional no domínio do tempo.

Nas aplicações digitais, este fenômeno é muito crítico pois gera interferência entre símbolos, que para ser reduzida, deve-se reduzir a taxa de dados do sistema, pois assim, aumenta-se o período de cada símbolo e consegue-se uma maior redundância, na Estação Móvel - EM, com respeito ao sinal ora transmitido. Ver, na FIG.1.3 , o exemplo ilustrativo sobre o efeito do retardo no pulso transmitido:

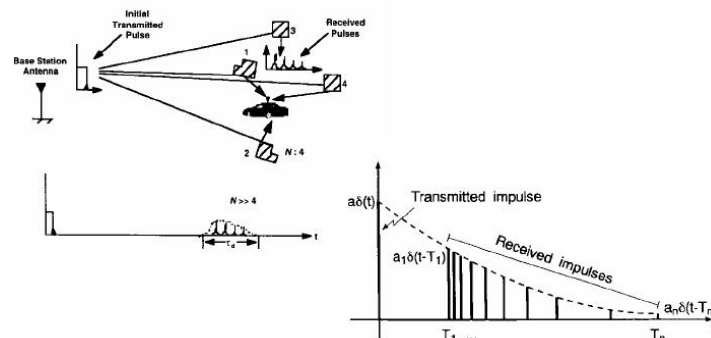


FIG. 1.3 Efeito Multipercurso

1.6. AMPS (ADVANCED MOBILE PHONE SYSTEM)

No fim da década de 50, um grupo norte-americano propôs o primeiro sistema móvel operando na faixa de 800 MHz utilizando uma banda total de 75MHz. Esta proposta, aparentemente inviável para a realidade da época, somente veio a ser

materializada em projeto quase vinte anos depois, quando em 1974, a agência reguladora norte-americana (FCC) resolveu reservar uma banda inicialmente de 40 MHz, com uma pequena previsão de folga de mais 20 MHz, para eventual necessidade futura.

Pouco tempo depois, em 1979 nos EUA, foi lançado o sistema analógico AMPS, que hoje é conhecido como sistema de Primeira Geração Celular, ou sistema analógico, segundo RAPPAPORT, 1996, onde se utilizava modulação analógica em frequência (FM) para tratamento na transmissão do sinal de voz e técnica de acesso do tipo FDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência).

Certamente este primeiro sistema era bastante limitado em capacidade de canais, visto que cada usuário ocupava, em média, 30 kHz para conversação em cada uma das vias de subida e de descida (mais adiante serão apresentadas as técnicas de acesso sucessoras que objetivaram superar estas limitações).

As informações de controle eram os únicos sinais que trafegavam pela interface aérea na forma digital, utilizando modulação FSK (*Frequency Shift Keying*) e ocupando uma média de faixa útil de 8KHz com taxa de 10 Kbps.

Nesta técnica de Primeira Geração, quando um canal de tráfego estivesse sendo utilizado por um usuário, ele recebia informações de controle e gerenciamento da rede móvel pelo próprio canal de voz através da técnica conhecida como *Blank and Burst*, que consiste em retirar propositalmente pedaços da informação do usuário que trafegam pelo canal, afim de que, nesta lacuna do canal ocupado pelo próprio usuário, pudessem ser enviados comandos e informações da rede ao terminal celular, sem com isso prejudicar a inteligibilidade da comunicação.

Como foi o primeiro sistema móvel que apareceu, o AMPS possuía um sistema de gerenciamento da rede muito robusto e de baixos recursos operacionais de manobra. Por exemplo, ao realizar *handoff*, a EM necessariamente precisava ajustar seu receptor em uma outra frequência de portadora, pois estaria passando a ser atendida por outra ERB do sistema. Neste procedimento, sempre ocorria a interrupção momentânea da chamada que estivesse em curso; em muitas das vezes ocorria até a perda definitiva da chamada, tendo o usuário que re-discar o número de interesse para ocupar outro canal no sistema e poder dar prosseguimento à conversação. Este tipo de *Handoff* é conhecido como *Hard handoff*, e foi minimizado

em número de ocorrências com o aparecimento das redes móveis digitais de segunda geração (2G), que serão estudadas a seguir.

1.7. D-AMPS (DIGITAL ADVANCED MOBILE PHONE SYSTEM)

1.7.1. IS-54

O IS-54 foi o primeiro sistema digital desenvolvido para coexistir com o sistema AMPS e fornecer serviço em *dual mode* (operável em sistema analógico e/ou digital). Sua operação era feita na faixa de frequências entre 824 até 894 MHz, que foi igualmente subdividida em sub-portadoras de 30 KHz (aproximadamente 832 canais), como no sistema AMPS, sendo que, por cada sub-portadora seria utilizada técnica TDMA (Acesso Múltiplo de usuários por Divisão no Tempo), onde ocorreria compartilhamento sincronizado e ordenado entre três usuários, predefinidos pela rede, por sub-portadora de 30 KHz (RAPPAPORT, 1996).

Cada Estação Móvel (EM) deveria aguardar seu momento exato de escutar e falar ao meio, por um tempo finito e padronizado pela rede. Desta forma, diz-se que este padrão utilizava técnica TDMA/FDMA e devido a isto, todo o sistema deve ser muito bem sincronizado a fim de evitar, principalmente, que ocorra troca de informações de um determinado usuário (processos de fala e escuta), fora de sua janela para acesso e comunicação na rede. Sendo assim, o sistema TDMA precisa ter um perfeito sincronismo para ser considerado uma rede eficiente na difusão de seus serviços.

Os canais de controle são exatamente como na versão do AMPS (sistema analógico). Utilizam modulação digital do tipo FSK com taxa de 10 Kbps através da técnica *Blank & Burst* no próprio canal de tráfego. A diferença maior ocorreu nos canais de voz, que deixaram de ser analógicos e passaram a ser digitais. Para esta

digitalização utilizam-se moduladores do tipo $\pi/4$ DQPSK com taxa de bits máxima total por usuário de 16,2 Kbps e taxa de bits máximos totais por sub-portadora de 30 KHz de 48,6 Kbps (com três usuários).

Outra característica limitante do sistema IS-54 era de ainda utilizar técnica de *Hard Handoff*, como nos sistemas analógicos, propiciando, com isso, os mesmos tipos de problemas já enfrentados pelo seu antecessor, o sistema AMPS.

1.7.2. IS-136

O padrão IS-136, não se diferenciou muito de seu antecessor IS-54. Somente foram realizadas algumas modificações que simbolizam maior relevância e, portanto, merecem ser mencionadas. A principal delas ocorreu no canal de controle do IS-136 que, diferentemente do IS-54, passou a ter modulação digital do tipo $\pi/4$ DQPSK e passou a ocupar um canal independente do canal de tráfego (RAPPAPORT,1996).

Sua técnica de acesso continua sendo TDMA/FDMA, com três usuários por sub-portadora de RF de 30 kHz, operando nas faixas de 824 a 894 MHz e 1900MHz. A taxa de dados por usuário continuou sendo a mesma praticada pelo IS-54, 16,2 kbps, o que resulta nos mesmos 48,6 kbps por portadora de RF de 30kHz.

Outra característica marcante do IS-136 foi ter sido o primeiro sistema a trazer evoluções nos mecanismos de *Handoff* (conhecido como MAHO - *Mobile Assisted Handoff*), ou *Handoff* auxiliado pela Estação Móvel. O que tornou mais suave, pelo ponto de vista do usuário, as transições da Estação Móvel ativa pelas células da rede móvel celular.

Também foi no IS-136 que surgiram as primeiras aplicações de criptografia e autenticação de dados, o que proporcionou aos usuários, real privacidade na conversação. Foram implementados também os primeiros serviços de identificadores de chamadas recebidas e os codificadores adaptativos de voz ACELP, que ofereciam taxas de sinal de voz a 7,95 kbps, frente aos antecessores que, para atender aos mesmos níveis de qualidade do sinal de voz, suas taxas de bits chegavam a passar da casa da dezena de quilobits por segundos.

É um codificador do tipo híbrido, pois resulta de uma combinação entre codificador do tipo VOCODER com codificador do tipo FORMA DE ONDA. Sua taxa de bits se inicia em 2kbps e aumenta adaptativamente com a necessidade da qualidade do sinal de voz.

Também foi no IS-136 que se apresentou pela primeira vez o modo *Sleep*, onde a Estação Móvel (EM) realizava escutas cíclicas das instruções do sistema e não mais se mantinha constantemente sintonizado às ERBs, como ocorria no sistema AMPS e IS-54, o que propiciou um grande avanço na economia de energia da bateria da EM, permitindo com isso, que as EM tivessem uma maior autonomia de funcionamento até a próxima recarga.

2. SISTEMA GSM

O GSM (*Global System for Mobile Communication*) é um padrão digital de segunda geração celular, que foi desenvolvido inicialmente na Europa e adotado na maior parte do mundo. Sua operação aplicava-se inicialmente na faixa de 900 MHz, e teve, posteriormente, uma versão adaptada para as faixas de 1800 e 1900 MHz.

O sistema GSM tem sua estrutura básica exatamente como a dos sistemas celulares TDMA anteriores, oferecendo as mesmas funcionalidades básicas dos demais sistemas celulares, associadas à mobilidade como *roaming* e *handoff* entre células (RAPPAPORT,1996).

A arquitetura de referência de um sistema GSM é apresentada na FIG. 2.1 a seguir:

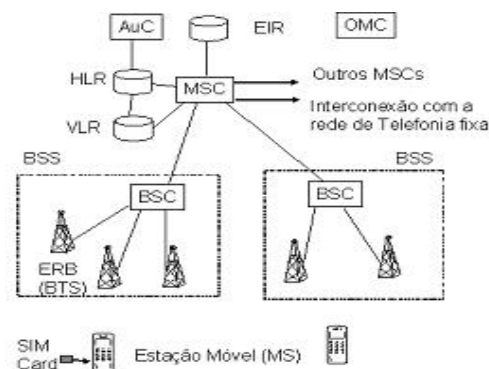


FIG. 2.1 Arquitetura de Rede GSM

2.1. ESTAÇÃO MÓVEL (EM)

É o equipamento terminal utilizado pelo assinante quando carregado com um cartão inteligente conhecido como *SIM Card* ou Módulo de Identidade do Assinante

(*Subscriber Identity Module*). Sem este *SIM Card* a Estação Móvel não está associada a um usuário e não pode originar nem receber chamadas.

Uma vez contratado o serviço junto a uma operadora, o usuário passa a dispor de um *SIM card* que ao ser inserido em qualquer terminal móvel GSM faz com que este passe a assumir a identidade do proprietário do *SIM Card*.

Este cartão de usuário armazena entre outras informações um número de 15 dígitos que identifica unicamente uma dada Estação Móvel denominado IMSI ou Identidade Internacional do Assinante Móvel (*International Mobile Subscriber Identity*).

Já o terminal móvel é caracterizado por um número também com 15 dígitos, atribuído pelo fabricante, denominado IMEI ou Identidade Internacional do Equipamento Móvel (*International Mobile Station Equipment Identity*).

2.2. SUBSISTEMA DE ESTAÇÃO BASE (BSS)

É o sistema encarregado pela comunicação com as estações móveis em uma determinada área. É formado por várias Estações Rádio Base (ERB), que constituem uma célula, e um Controlador de Estação Rádio-Base (BSC), que controla estas ERBs.

2.3. MOBILE-SERVICES SWITCHING CENTER (MSC)

A MSC, ou Central de Comutação e Controle (CCC) é a central responsável pelas funções de comutação e sinalização para as estações móveis localizadas em uma área geográfica designada como a área de gerenciamento da MSC. A diferença principal entre uma MSC e uma central de comutação fixa é que a MSC tem que levar em consideração a mobilidade dos assinantes (locais ou visitantes), inclusive sobre os *handoffs* que ocorrem durante a comunicação, quando estes assinantes se movem de uma célula para outra. A MSC encarregada de rotear chamadas para outros MSCs é chamada de *Gateway MSC*.

2.4. HOME LOCATION REGISTER (HLR)

O HLR, ou Registro de Assinantes Locais é a base de dados que contém informações sobre os assinantes de um sistema celular.

2.5. VISITOR LOCATION REGISTER (VLR)

O VLR, ou Registro de Assinantes Visitantes é a base de dados que contém a informação sobre os assinantes em visita (caso de *roaming*) em uma rede móvel celular.

2.6. AUTHENTICATION CENTER (AUC)

O AUC, ou Centro de Autenticação é responsável pela autenticação dos assinantes no uso do sistema. O Centro de Autenticação está associado a um HLR e armazena uma chave de identidade para cada assinante móvel registrado naquele HLR possibilitando a autenticação do IMSI do assinante. É também responsável por gerar uma chave secreta para criptografar a comunicação entre EM e ERB.

2.7. EQUIPMENT IDENTITY REGISTER (EIR)

O EIR, ou Registro de Identidade do Equipamento é a base de dados que armazena os IMEIs dos terminais móveis de um sistema GSM.

2.8. OPERATIONAL AND MAINTENANCE CENTER (OMC)

O OMC, ou Centro de Operação e Manutenção é a entidade funcional através da qual a operadora monitora, controla e gerencia o sistema em operação.

2.9. CARACTERÍSTICAS DA INTERFACE AÉREA NO GSM

As características principais da interface aérea entre a Estação Móvel e a ERB são apresentadas na TAB. 2.1, a seguir:

	GSM 900	DCS 1800	PCS 1900
Faixa de Frequência no UPLINK	880 à 915 MHz	1710 à 1785 MHz	1850 à 1910 MHz
Faixa de Frequência no DOWNLINK	925 à 960 MHz	1805 à 1880 MHz	1930 à 1990 MHz
Espaçamento ente frequências de UPLINK e DOWNLINK	45MHz	95 MHz	80MHz

TAB. 2.1 Interface aérea GSM

O sistema GSM foi padronizado para operar nas faixas de frequências apresentadas na TAB. 2.1, sendo o GSM 900 e o DCS 1800 adotados na Europa e o PCS 1900 nos Estados Unidos.

No Brasil as Bandas C, D e E estão na faixa de frequências do DCS 1800, tendo sido licitados inicialmente 15 MHz por operadora em cada direção.

2.10. CANALIZAÇÃO

As Bandas do sistema GSM são divididas em canais de Rádio-Freqüência-RF, onde cada canal consiste de um par de frequências (Transmissão e Recepção) com 200 KHz de banda cada (RAPPAPORT, 1996).

Existem, portanto, 124 canais de RF no GSM 900 e 373 no DCS 1800.

As frequências portadoras dos canais de RF são moduladas em 0,3GMSK por um sinal digital com taxa final de 270,833 kbit/s .

Este sinal digital de 270,833 kbit/s é dividido no domínio do tempo em 8 intervalos de tempo (*Time slots*), possibilitando o múltiplo acesso por divisão no tempo (TDMA) das Estações Móveis. A seguir, na TAB. 2.2, encontram-se com mais detalhes as especificações TDMA do sistema GSM:

	Período	Composição
Taxa de 270,833 kbps	4,615 mili segundos	8 janelas de tempo
Janela de tempo	577 micro segundos	156,25 bits
Duração do bit	3,7 micro segundos	

TAB. 2.2 Especificação TDMA do sistema GSM

2.11. MODULAÇÃO

O Sistema GSM utiliza um formato de modulação digital chamado de 0,3GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*). (RAPPAPORT,1996).

O 0,3G descreve a Banda do Filtro Gaussiano de pré-modulação utilizado para reduzir o espectro do sinal modulado.

MSK (*Minimum Shift Keying*) é um tipo especial de modulação FSK (*Frequency Shift Keying*) onde 1's e 0's são representados por deslocamentos na frequência da portadora de RF. Quando a taxa de bits do sinal modulante é exatamente quatro vezes o deslocamento da frequência da portadora consegue-se minimizar o espectro e a modulação é chamada de MSK (*Minimum Shift Keying*).

2.12. CAPACIDADE DO GSM

A eficiência de utilização do Espectro, ou capacidade de um sistema GSM é maior que a do AMPS e menor que um sistema TDMA (IS-136).

Em uma Banda de 30 KHz o AMPS tem capacidade para uma chamada telefônica e o TDMA três. Já o GSM em 200 KHz tem capacidade para oito chamadas. Em compensação por ser mais robusto à interferência co-canal, o sistema GSM utiliza um reuso de frequência de 4 por 12 enquanto no AMPS e TDMA o reuso usual é de 7 por 21, o que propicia uma melhor utilização do espectro por parte do GSM. Se o GSM utilizar um recurso, previsto nas especificações, de salto de frequência (*Frequency Hopping*) é possível, inclusive, a utilização de esquemas de reuso de frequências mais eficientes.

2.13. SERVIÇOS OFERECIDOS NO GSM

As especificações do GSM procuraram de início reproduzir na rede móvel os serviços que estariam disponíveis na rede fixa através da ISDN (Rede Digital de Serviços Integrados) padronizada pela UIT. A estrutura flexível dos canais físicos do GSM bem como a utilização do protocolo SS7 facilitaram a introdução destes serviços, que foram divididos nos grupos apresentados a seguir.

2.13.1. BEARER SERVICES

Serviços de transporte de dados usados para conectar dois elementos de uma rede como acesso ao X.25 com taxas de dados de 2400 a 9600 bit/s.

2.13.2. TELESERVICES

Serviços de comunicação entre dois assinantes como telefonia, serviço de mensagens curtas (SMS) e FAX.

2.13.3. SERVIÇOS SUPLEMENTARES

As redes GSM suportam dezenas de serviços suplementares, tais como identificação do número chamador, chamada em espera, siga-me, conferência, etc.

A padronização do sistema GSM tem avançado na definição de outros serviços adicionais. O SMS, assim como outros serviços, é normalmente implementado utilizando-se gateways entre a BSC e o MSC como apresentado na FIG. 2.2 a seguir.

A comunicação com outros elementos da Rede GSM, tais como MSC, HLR e EIR, é sempre baseada no protocolo MAP com suporte do SS7.

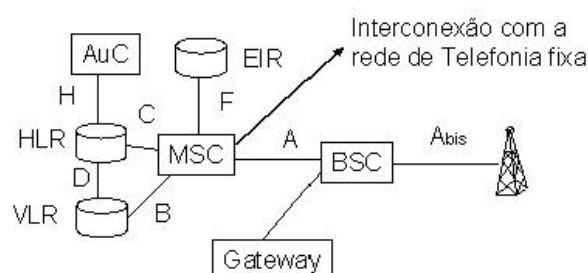


FIG. 2.2 Esquema parte fixa da rede GSM

2.13.4. SERVIÇOS DE LOCALIZAÇÃO

Os serviços de localização padronizados para o GSM permitem estimar com precisão a localização da estação móvel servindo de base para vários outros serviços oferecidos ao assinante.

2.14. GPRS - GENERAL PACKET RADIO SERVICE

Embora o sistema GSM inicialmente possuísse baixa eficiência na comunicação de dados, muito se pesquisou e se aprimorou no amadurecimento desta tecnologia numa busca incansável de se aumentar a taxa de dados efetiva nas comunicações destas redes móveis. Uma primeira evolução alcançada foi o GPRS, que trouxe considerável melhora na comutação de dados a um custo razoável de implementação.

O GPRS é um serviço para comunicação de dados que permite que a Estação Móvel (EM) estabeleça uma conexão com a Internet, sem a necessidade de se realizar uma chamada telefônica para tal, é o chamado modo sempre conectado (*always online*). Este serviço de dados GPRS pode utilizar até os 8 *timeslots* de uma canal GSM de 200 KHz, o que implica uma taxa que teoricamente poderia chegar a 160 kbps (ERICSSON, AB2003). Seu único inconveniente é que para atingir esta taxa teórica, muito se perderia em termos de capacidade principalmente na prestação dos serviços de voz tradicionais, pois, para cada usuário de uma mesma célula, que quisesse utilizar serviços de dados a esta taxa, teriam-se oito usuários a menos em conversação. Isso reduziria bastante a receita das operadoras forçando-

as a encarecer o uso destes novos serviços de dados GPRS, como forma de compensação às possíveis perdas. Usualmente as operadoras GSM brasileiras adotaram a configuração de até quatro *timeslots* por usuários de dados por sub-portadora de 200kHz, a fim de evitar situações de extremo congestionamento, mantendo reduzida a probabilidade de bloqueio de chamadas.

Basicamente, pouco se modificou na redes GSM existentes, além de algumas adaptações e inserções de equipamentos específicos para viabilizar a comutação de pacotes. As principais alterações foram: a criação de dois nós adicionais, que na verdade são roteadores, que se interligam ao subsistema de rede do GSM; e a inserção de uma placa de unidade controladora de pacotes (PCU) na estrutura da BSC. A FIG. 2.3 abaixo, ilustra melhor o tipo de topologia de rede encontrada nas redes GSM/GRPS:

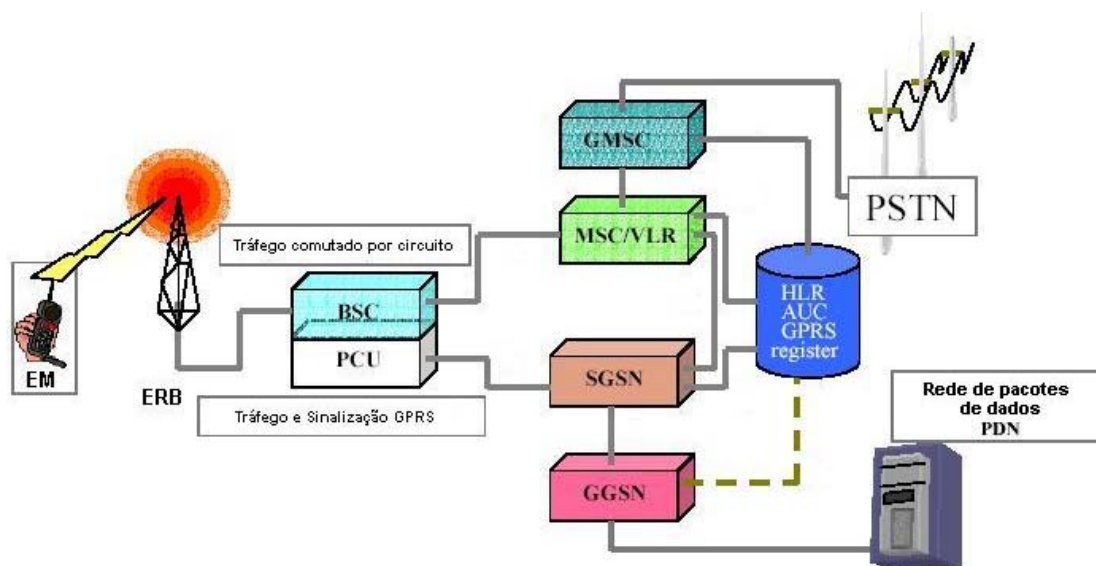


FIG. 2.3 Estrutura de Rede GSM com suporte a serviço GPRS

A adição destes novos elementos na rede implicou o desenvolvimento de novos modelos de terminais móveis que permitissem a operabilidade simultânea (*dual*) entre os Sistemas GSM/GPRS.

Vale notar que os usuários podem optar por trocar ou não seus terminais móveis de acordo com sua conveniência.

As novas taxas de dados atingidas pelo serviço GPRS são definidas em quatro classes definidas na TAB. 2.3:

	Taxa básica por timeslot	Fator k teórico (número de timeslots)	Taxa total por usuário
Classe 1	8 Kbps	até 8	8Kbps x k
Classe 2	12Kbps	até 8	12Kbps x k
Classe 3	14,4Kbps	até 8	14,4Kbps x k
Classe 4	20Kbps	até 8	20Kbps x k

TAB. 2.3 Classes de taxas do GPRS

Na prática, a taxa máxima por usuário não passa de ordem de 80Kbps para a classe 4 devido ao fator k crescer no máximo até quatro. Esta regra prática é válida para a determinação de todas as outras classes existentes no sistema GPRS.

Mesmo com este ganho efetivo obtido na taxa de dados dos sistemas GSM, não foi suficiente para que se fosse considerado um sistema de Terceira Geração, pois a especificação internacional prevê que a Terceira Geração celular deva oferecer taxas de dados da ordem de 144Kbps para usuários com alta mobilidade (velocidade de deslocamento média de 200Km/h), 384Kbps para usuários com média mobilidade (pedestre) e de até 2Mbps para usuários em ambiente fechado/interno (usuário praticamente parado). Daí a necessidade de se continuar a desenvolver técnicas que viabilizassem preservar as características iniciais da rede GSM, oferecendo taxas de dados cada vez maiores.

2.14.1. COBERTURA GSM/GPRS NO MUNDO

Atualmente todas as redes GSM existentes no mundo estão aptas a oferecerem serviços de dados GPRS. A fim de ilustrar esta cobertura, serão comentados os mapas ilustrativos a seguir, obtidos no sítio do GSMworld:



FIG. 2.4 Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na Europa

do Norte e Sul praticamente inexistente, devido ao protecionismo político coreano frente à tecnologia CDMA.



FIG. 2.7 Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na África

Na FIG. 2.7 acima, nota-se que ocorre também de forma análoga a difusão dos sistemas GSM na África, embora na maior parte de cobertura GSM ainda não seja oferecido o serviço GPRS. Apenas na parte sul da África e em algumas localidades mais próximas da Europa que se encontram atualmente operacionais serviços GPRS. Para as outras regiões hachuradas demonstradas, apenas existem previsões para implantação de serviço GPRS nas redes GSM operativas.



FIG. 2.8 Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na Oceania

Na FIG. 2.8 acima, pode-se comentar que a cobertura GSM/GPRS nos países da Oceania ocorre de forma localizada, atendendo principalmente os grandes e importantes centros urbanos. Nesta figura, tem-se a impressão errônea de que a tecnologia GSM não está bastante difundida na Oceania. Entretanto, deve-se levar

em conta que a Austrália é um país com dimensões continentais e portanto, não possui toda sua extensão territorial com possibilidades potencialmente interessantes para que se implementem sistemas móveis. A seguir será mostrado que ocorre de maneira similar no caso do Brasil.



FIG. 2.9 Mapa de cobertura do sistema GSM/GPRS na América do Sul

Finalmente na FIG. 2.9 acima, apresenta-se o mapa de cobertura GSM/GPRS da América do Sul. Da figura, deve-se notar que o Brasil possui uma cobertura bastante regionalizada como é o caso da Austrália e de alguns outros países com grande extensão territorial. Isto ocorre devido ao fato de ainda se possuir muitas regiões inóspitas como florestas e reservas silvícolas, que não justificam, neste momento, uma maior disponibilidade de serviços móveis em tais regiões, que são pouco ou nada desenvolvidas economicamente falando.

Nesta fase da maturidade da rede GSM, houve mais uma contribuição científica que permitiu manter otimista a sociedade em relação ao futuro das redes TDMA. Eis que surge o EDGE, abordado a seguir.

2.15. EDGE – ENHANCED DATA RATES FOR GSM EVOLUTION

O EDGE é um padrão digital que foi desenvolvido para possibilitar o aumento da taxa de dados para serviços digitais já oferecidos pela rede GSM. Este aumento

é obtido basicamente pelo uso de modulação em fase digital (8-PSK), além do tradicional 0,3GMSK para cada portadora dos canais de RF. Desta forma, fica possível oferecer taxas de dados até 59,2 kbps por Janela de tempo (*Timeslot*), o que possibilitaria o oferecimento de conexões de dados de até 473,6 kbps (para o caso de termos um usuário utilizando os oito *timeslots* de uma mesma portadora RF do sistema GSM). (ERICSSON, AB2003).

Esta solução mantém a estrutura básica de canalização do GSM, apesar de implicar instalação de transceptores com modulação 8-PSK para os canais de RF dedicados a esta aplicação. Além de exigir a total substituição dos terminais dos usuários que se interessarem por utilizar do serviço, pois as novas taxas de dados somente são atingidas com o uso da modulação do tipo PSK.

A seguir, a FIG. 2.10 exemplifica o funcionamento básico de uma rede EDGE e em seguida, na TAB. 2.4, a comparação qualitativa entre estes dois sistemas:

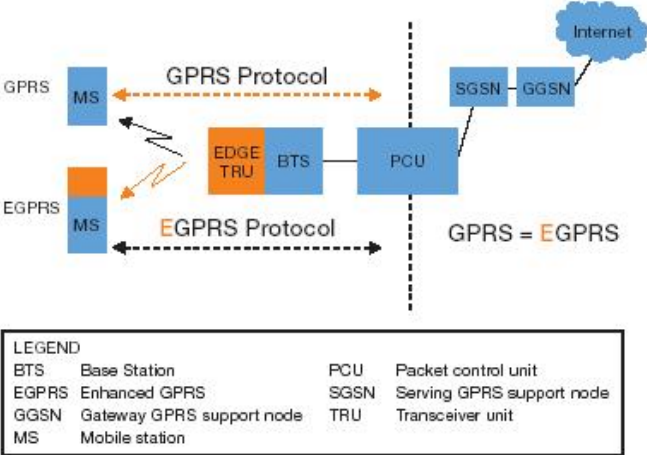


FIG. 2.10 Compatibilidade GPRS x EDGE na rede GSM

	GPRS	EDGE
Modulation	GMSK	8-PSK/GMSK
Symbol rate	270 ksym/s	270 ksym/s
Modulation bit rate	270 kb/s	810 kb/s
Radio data rate per time slot	22,8 kb/s	69,2 kb/s
User data rate per time slot	20 kb/s (CS4)	59,2 kb/s (MCS9)
User data rate (8 time slots)	160 kb/s	473,6 kb/s
	(182,4 kb/s)	(553,6 kb/s)

TAB. 2.4 Comparativo entre GPRS e EDGE

No EDGE são definidas 9 esquemas de modulação/codificação diferentes mostrados na TAB. 2.5:

	Tipo de Modulação	Taxa básica por timeslot	Fator k teórico (número de timeslots)	Taxa total por usuário
Esquema 1	GMSK	8,8 Kbps	até 8	8,8 Kbps x k
Esquema 2	GMSK	11,2Kbps	até 8	11,2Kbps x k
Esquema 3	GMSK	14,8Kbps	até 8	14,8Kbps x k
Esquema 4	GMSK	17,6Kbps	até 8	17,6Kbps x k
Esquema 5	8-PSK	22,4Kbps	até 8	22,4Kbps x k
Esquema 6	8-PSK	29,6Kbps	até 8	29,6Kbps x k
Esquema 7	8-PSK	44,8Kbps	até 8	44,8Kbps x k
Esquema 8	8-PSK	54,4Kbps	até 8	54,4Kbps x k
Esquema 9	8-PSK	59,2Kbps	até 8	59,2Kbps x k

TAB. 2.5 Classes de taxas EDGE

2.15.1. COBERTURA DO EDGE NO MUNDO

Apesar de ser bastante atraente em sua proposta para melhorar a taxa de transmissão de dados, o EDGE ainda não se materializou, em grande parte dos mercados mundiais, na sucessão do GPRS das redes GSM. Apenas alguns poucos países implementaram de forma embrionária este sistema, afim de impulsionar o mercado internacional a seguir os mesmos passos.

Vale ressaltar que na América do Sul, atualmente, apenas o Chile possui o sistema EDGE implementado. No Brasil, também começam a surgir movimentações das operadoras no sentido de implementação do EDGE nas principais capitais.

A seguir, a FIG. 2.11, obtida no sítio oficial do GSMworld, ilustra o panorama internacional sobre a operacionalização do EDGE como sendo realidade atual de mercado:

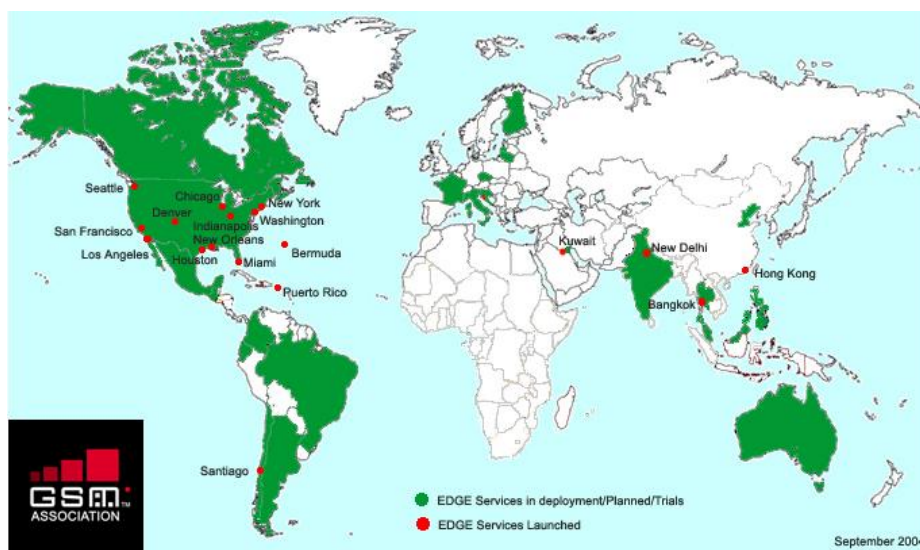


FIG. 2.11 Rede EDGE no Mundo

As sucessivas crises econômicas internacionais, principalmente ligadas ao mercado tecnológico, funcionaram como o freio maior na imediata aceitação e absorção destes custos de implementação por parte dos usuários. A partir daí, a comunidade científica, juntamente com os Operadores das grandes de redes móveis celulares no mundo, começaram a desenvolver um novo sistema que realmente atingisse às expectativas de taxas de dados para a tão almejada Terceira Geração Móvel Celular.

Após vários encontros científicos e fóruns de discussões sobre a 3G, chegou-se a conclusão de que a referida sucessão para o caso das Redes GSM implicaria modificação total da técnica de acesso utilizada. Deixaria de ser TDMA\FDMA e passaria a ser do tipo CDMA\FDMA, por motivos de esta apresentar melhor eficiência para tráfego de dados a taxas mais altas que aquelas. Estes detalhes serão mais aprofundados mais a frente quando forem abordadas as técnicas de acesso da 3G.

3. SISTEMA IS-95

Também conhecido como CDMA, o IS-95 surgiu primordialmente em aplicações militares, onde a comunicação deveria ser realizada em caráter de extremo sigilo e com confiabilidade entre os comunicantes, para que se dificultasse a terceiros, a interceptação dessa comunicação e, conseqüentemente, a realização de escuta da informação.

Utiliza técnica de espalhamento espectral, onde o código responsável pelo espalhamento da informação deve ser conhecido apenas pelos comunicantes interessados, e a informação, depois de ser espalhada, é transmitida próxima ao patamar de ruído, ou seja, com baixa potência (LEE & MILLER, 1998).

Este padrão utiliza técnica de acesso do tipo FDMA/CDMA, onde seu espectro reservado é subdividido em sub-portadoras FDMA de 1,25MHz, aproximadamente, em cada sentido de transmissão.

Possui modulador digital do tipo QPSK e permite funcionamento simultâneo com o sistema AMPS, devido a utilizar ainda a mesma faixa de frequências originalmente ocupada pelo sistema analógico no Brasil.

Em sua primeira versão apresentada pela proprietária Qualcomm, foi prometido capacidade infinita por célula com reuso de frequência 1, o que gerou grande expectativa no mercado mundial a seu respeito. Após as primeiras simulações e experimentos práticos, foi constatado que o IS-95 não seria realizável nos moldes inicialmente propostos, devido as não ideais propriedades físicas do canal de propagação de ambientes móveis.

A seguir, a FIG. 3.1 mostra didaticamente a idéia do espalhamento espectral (*spread spectrum*).

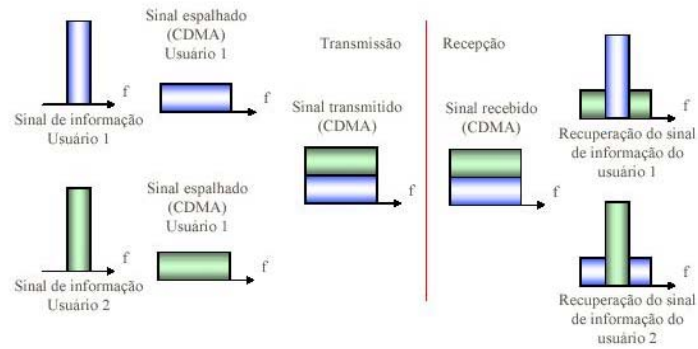


FIG. 3.1 Conceituação de ortogonalidade e espalhamento espectral

Matematicamente, consegue-se tornar este processo realizável, devido a utilização de funções ortogonais entre si, ou seja, a correlação cruzada entre uma função de espalhamento com todas as outras funções será sempre zero. Estas funções, representadas por seqüências de 1s e -1s, precisam ainda ser pseudo-aleatórias, ou seja, possuir na média, o mesmo número de 1s e -1s. E ainda, para que possam ser detectadas pelas Estações Móveis sem maiores problemas, as seqüências precisam possuir autocorrelação normalizada igual a 1. Desta forma, serão apresentados brevemente as formas de se materializar todo este processo de espalhamento no enlace direto (ERB -> EM):

Um processo recursivo para gerar as funções com tais propriedades descritas, nas ERBs sincronizadas por GPS, são os códigos de WALSH através da matriz de HADAMARD representada na FIG. 3.2:

$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{bmatrix}$$

FIG. 3.2 Matriz de Walsh-Hadamard

Na prática, $N=32$ para o IS-95, gerando uma matriz 64×64 , com 64 seqüências ortogonais entre si, que serão os 64 canais disponíveis por portadora RF no sistema, para a efetiva transmissão de dados no enlace direto. Estas seqüências não são utilizadas para espalhar o sinal de dados ou de informação do usuário, elas apenas são utilizadas no processo, devido as suas propriedades ortogonais, que diferenciam os 64 canais disponíveis e propiciam a detecção coerente nas Estações Móveis (EM) ativas.

No enlace direto, o espalhamento de cada canal ortogonal na taxa de 1,2288Mcps fica por conta da seqüência pseudo-aleatória (PN) em fase e quadratura, que é obtida através da combinação das saídas de um registrador de deslocamento de n estágios com realimentação linear.

A seguir na FIG. 3.3, o diagrama esquemático que representa tal registrador:

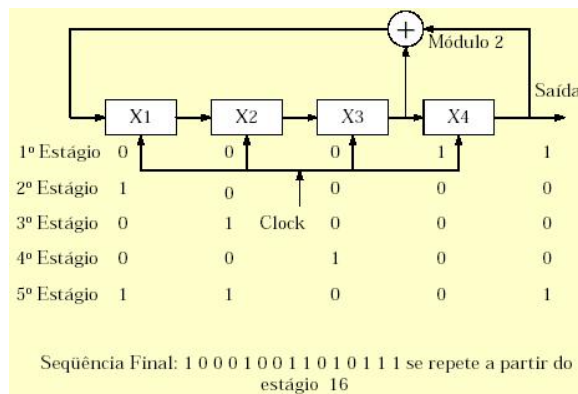


FIG. 3.3 Geração de seqüência Pseudo-aleatória (PN)

3.1. ESPALHAMENTO ESPECTRAL DO ENLACE DIRETO

Uma observação importante é que, no sistema CDMA, todas as ERBs utilizam a mesma seqüência PN de espalhamento, conforme mostrado na Fig.-3.3, diferenciando-se uma das outras apenas por retardos (*offsets*) predefinidos da seqüência original. Neste caso, as seqüências de WALSH são utilizadas pelo fato de gerarem funções ortogonais entre si, pois diferenciam os 64 diferentes canais, a fim de viabilizar a transmissão do enlace direto. Isto porque todas as EMs podem realizar detecção coerente, devido a recuperarem referência de fase do canal piloto e sincronismo através do próprio canal de sincronismo. A FIG. 3.4 mostra o diagrama ilustrativo de como ocorre o espalhamento espectral no enlace direto:

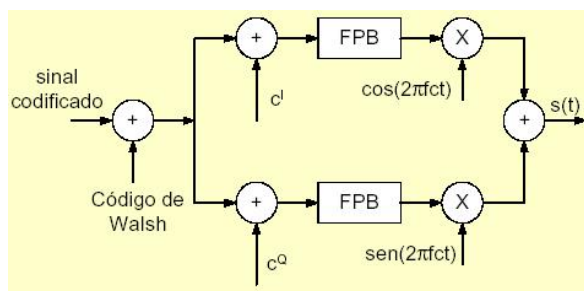


FIG. 3.4 Espalhamento no Enlace Direto

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS CANAIS DO ENLACE DIRETO

No enlace direto existem quatro tipos de canais:

1) Canal Piloto: Possui taxa bruta de dados de 9,6kbps antes do espalhamento. É caracterizado pela sequência de WALSH com os 64 bits zeros. Este é um importantíssimo canal, pois permite que as EMs obtenham referência de fase da sequência PN para realizarem detecção coerente da informação. Permite ainda, que as EMs identifiquem a ERB com a qual estão se comunicando, através da monitoração do *offset* do canal piloto da ERB comunicante, além de conhecer também os outros *offsets* dos pilotos das demais ERBs vizinhas.

Quando uma EM é ligada, inicia-se um processo de busca e análise de amplitude de sinais pilotos com melhor qualidade através do seu mecanismo de correlação do sinal de recepção da EM, aqueles sinais com maior intensidade entrarão em atividade com a referida EM.

O canal piloto também assessora os terminais a escolherem e medirem o nível de recepção do canal piloto das ERBs candidatas (com nível de sinal favorável ao estabelecimento de conexão) e vizinhas (aquelas em que o nível de sinal do canal piloto atinge um patamar próximo ao aceitável àquele que seria favorável ao estabelecimento de conexão), para decidir sobre eventuais *Handoffs*.

2) Canal de sincronismo: Possui taxa bruta de dados de 9,6kbps antes do espalhamento. É um canal que, muito além de oferecer o sincronismo às EMs, a partir da referência de GPS instalados nas ERBs, transporta também, até as EMs

servidas, a versão do sistema operativo em atividade e a versão do sistema operativo mais antigo aceitável.

Outra característica também deste canal é informar às EMs o SID (*System Identification Number*) e o NID (*Network Identification Number*), além do próprio *offset* da seqüência PN do canal piloto. Informa ainda, a taxa de transmissão que é praticada nos canais de *paging* desta ERB, para tanto, o canal de sincronismo utiliza o mesmo *offset* do canal piloto relativo a sua ERB.

Uma característica principal do canal de sincronismo é possuir seqüência de 32 zeros e 32 uns no código de WALSH (corresponde a linha 32 da matriz de HADAMARD). A seguir, na FIG. 3.5 ilustração do processo de espalhamento do canal de sincronismo no enlace direto:

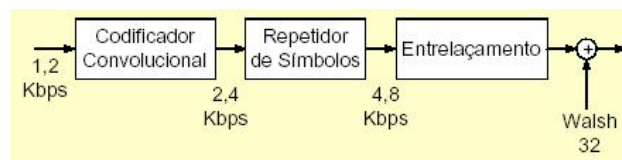


FIG. 3.5 Espalhamento no Canal de Sincronismo

3) Canal de Busca (*Paging*): Possui taxa bruta de dados de 9,6kbps antes do espalhamento. Sua principal função é carregar informações e instruções do sistema da rede CDMA, que podem ser traduzidas como aviso de recebimento de chamadas (ou alerta); confirmação à requisição de acesso feita pela EM; decisões sobre requisições de *handoffs* feitas pela rede; listagem de ERBs vizinhas e seus respectivos *Offsets* da seqüência PN do canal piloto; quantidade de canais de acesso disponíveis pela ERB ativa; instrução de ordem para que a EM desligue seu transmissor até contra-ordem, a fim de evitar que o nível de interferência fique fora do limiar aceitável na recepção da ERB; informar quando a própria EM precisa de manutenção; parâmetros de *Handoffs* observados pela ERB. Na FIG. 3.6, ilustração do processo de espalhamento do canal de *paging* no enlace direto:

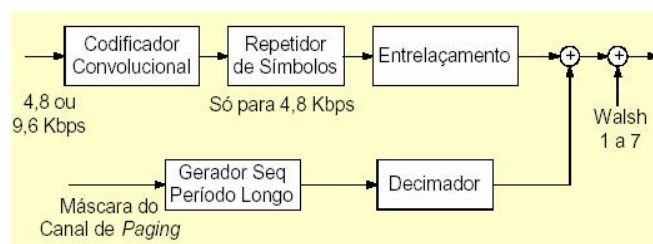


FIG. 3.6 Espalhamento no Canal de Paging

4) Canal de Tráfego: Possui taxa bruta de dados de 9,6kbps antes do espalhamento. É o canal disponibilizado para ocorrer a comunicação efetivamente. No serviço de voz digitalizada (codificador CELP), pode-se utilizar até quatro taxas diferentes – 9,6kbps, 4,8kbps, 2,4kbps e 1,2kbps, dependendo da atividade de voz de cada locutor. A taxa efetivamente utilizada pelo sistema no enlace direto não é informada às EMs, pois estas devem decodificar o sinal recebido nas quatro taxas possíveis e decidir qual a taxa correta baseado na análise da taxa de erros encontrada em cada uma das possíveis taxas decodificadas para o sinal recebido.

Na FIG. 3.7, ilustração do processo de espalhamento do canal de tráfego no enlace direto:

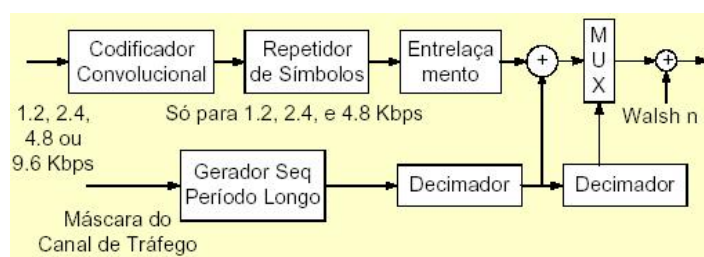


FIG. 3.7 Espalhamento no Canal de Tráfego

3.3. ESPALHAMENTO ESPECTRAL DO ENLACE REVERSO

No enlace reverso, o espalhamento espectral ocorre a princípio em duas etapas:

A primeira é realizada quando se objetiva ortogonalizar o sinal aplicando-se os códigos de WALSH ao sinal. É importante frisar que a intensão nesta etapa é de se ortogonalizar o sinal, a fim de que seja facilitada sua detecção pelas ERBs, pois estas possuem sistema de detecção de sinal não coerente devido ao não sincronismo das EMs na transmissão do enlace reverso. Daí a importância fundamental de se utilizar as seqüências ortogonais de WALSH.

A segunda etapa, e também a mais importante no processo do espalhamento espectral do enlace reverso, é realizada pela seqüência PN, que finalmente espalha o sinal em fase e quadratura na taxa final de 1,2288Mcps. Na FIG. 3.8, é apresentado o diagrama esquemático do processo de espalhamento do enlace reverso:

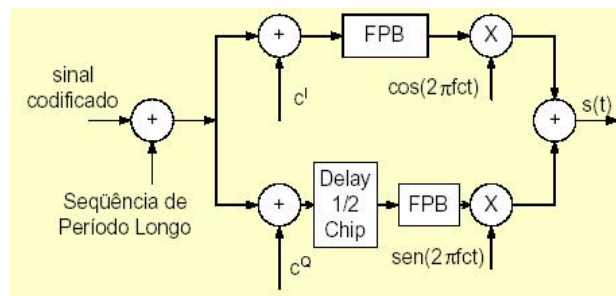


FIG. 3.8 Espalhamento no Enlace Reverso

Um retardo de $\frac{1}{2}$ chip é inserido no processo, a fim de que se reduza a envoltória do sinal, pois ao se mudar de um estado de chip para o seguinte, a envoltória do sinal nunca irá passar por zero. Este artifício permite que os amplificadores de potência das EMs operem na região não linear, sem causar maiores problemas ao sistema, barateando com isso o custo de fabricação das EMs.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS CANAIS DO ENLACE REVERSO

O enlace reverso no sistema CDMA possui apenas dois canais, a saber:

- 1) Canal de Acesso: Possui taxa bruta de dados de 9,6kbps antes do espalhamento e opera sempre com taxa útil de 4,8kbps. É utilizado pelas EMs nas tentativas de originar chamadas (ocupar canal de tráfego), resposta a instruções e ordens recebidas pelo canal de busca (*paging*) e ainda, para que as EMs ativas em modo de espera de chamadas na célula (*standby*), realizem registro na rede após realizar *handoff*, por exemplo.

Por ser assíncrono, o enlace reverso do sistema CDMA, várias EMs disputam o mesmo canal de acesso para responder a *pagings* ou tentar originar chamada (alocar canal de tráfego). Por isso, o sistema CDMA precisou estipular determinadas regras de acesso chamados de Tentativas de Acesso (*Access Probes*), que visam reduzir probabilidade de colisão na tentativa de uso destes canais por conta das EMs. A cada falha na tentativa de uso no canal de acesso, devido a, por exemplo, outro usuário o ter ocupado antes, a EM interessada aguarda um tempo conhecido como *backoff delay* até injetar novamente outra Tentativa de Acesso no sistema e assim sucessivamente, até que esta EM consiga realizar conexão com a rede através do canal de acesso.

Na FIG. 3.9, é apresentado o diagrama esquemático do espalhamento espectral do canal de acesso do enlace reverso:

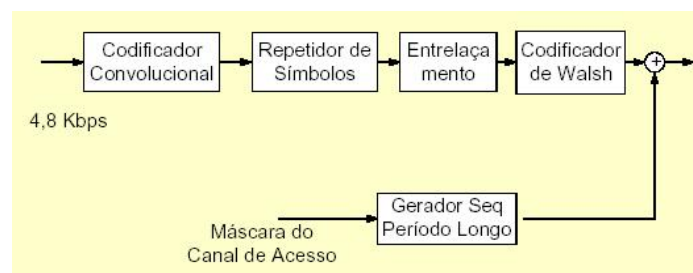


FIG. 3.9 Espalhamento no Canal de Acesso

2) Canal de Tráfego: Possui taxa bruta de dados de 9,6kbps antes do espalhamento. Este canal é utilizado quando uma EM ativa no sistema CDMA está em comunicação com outro usuário, seja da própria rede CDMA móvel, TDMA móvel ou até mesmo quando em comunicação com um usuário da rede de telefonia fixa.

Outra funcionalidade do canal de tráfego ocorre quando há um usuário ocupando o canal para comunicação e a rede necessita realizar algum tipo de instrução com esta EM, por exemplo, instrução de *handoff* e controle de potência. Através da técnica *blank & burst*, a rede CDMA tira determinadas parcela de dados de informação útil do usuário e injeta, nestas lacunas geradas, as instruções de gerenciamento e controle necessárias.

Na FIG. 3.10, é apresentado o diagrama esquemático do espalhamento espectral do canal de tráfego no enlace reverso:

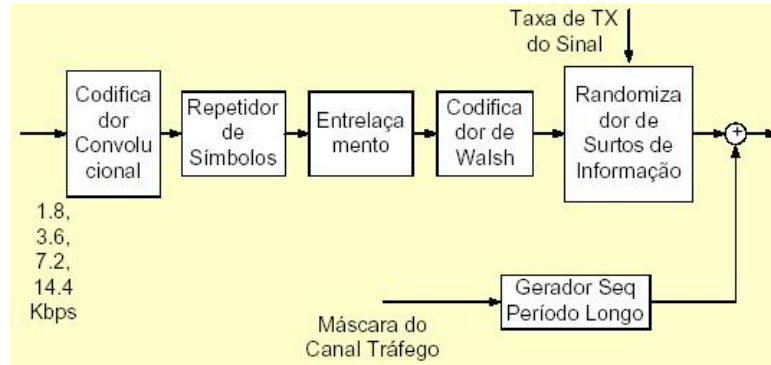


FIG. 3.10 Espalhamento no Canal de tráfego Enlace Reverso

3.5. MODULAÇÃO

O sistema IS-95, utiliza modulação do tipo QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), onde cada combinação de bits, dois a dois resultantes, em fase e quadratura, representam um estado da fase da portadora a ser transmitida.

Na TAB. 3.1, é apresentada uma tabela esquemática para a interpretação da fase do sinal PSK em questão:

Mapeamento dos bits em transições de fase no Sistema CDMA		
Bits gerados em fase (I)	Bits gerados em quadratura (Q)	Fase correspondente da portadora QPSK
I=0	Q=0	fase=45°
I=1	Q=0	fase=135°
I=1	Q=1	fase=225°
I=0	Q=1	fase=315°

TAB. 3.1 Esquema de Modulação QPSK utilizada no CDMA

3.6. PROCESSAMENTO DE CHAMADAS NO SISTEMA IS-95

No sistema IS-95, o processamento de chamadas pode ser subdividido em quatro estágios. Na FIG. 3.11, é apresentada uma ilustração seqüencial de tais estágios:

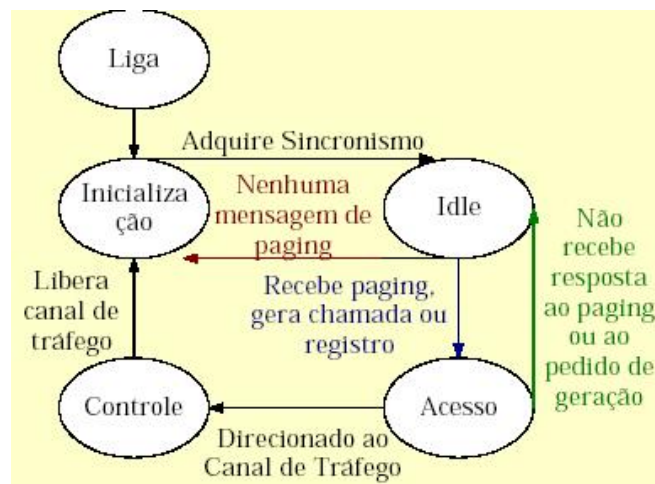


FIG. 3.11 Processamento de chamadas no CDMA

- 1) Estágio de inicialização do terminal. Possui quatro fases, a saber:
 - a) EM seleciona algum sistema CDMA local para realizar sua conexão à rede. Caso não haja sistema disponível para o usuário, a EM tenta ainda conectar-se a um sistema analógico.
 - b) Após sua conexão à rede CDMA, a EM adquire o canal piloto.
 - c) O próximo passo é a EM adquirir o canal de sincronismo para sincronizar-se à rede e receber ainda, informações sobre a configuração do sistema CDMA disponível.
 - d) Por fim, nesta fase, a EM ajusta seu relógio, prepara-se para receber o canal de page e iniciar o processo de registro.

- 2) Estágio *IDLE*. Neste estágio, a EM realiza diferentes tarefas como:
 - a) Monitoramento cíclico do canal de Busca (*Paging*).
 - b) Realiza registros no sistema, que são solicitados pela rede.

- c) Realiza *Idle Handoff*, ou seja, começa a monitorar o canal de *paging* de outra ERB. Notar que ao realizar o *Idle Handoff* a EM deixa de receber mensagens do canal de *paging* originário e passa a receber instruções do novo canal de *paging* sintonizado.

Enquanto monitora o canal de Busca (*paging*), a EM pode responder a mensagens de *paging* recebidas, responder a ordens da ERB, receber informações de *overhead*, como parâmetros do sistema, listagem de ERBs vizinhas, listagem de canais de *paging* de ERBs vizinhas. Pode inclusive, responder a ordens recebidas das ERBs, iniciar chamadas e ajustar sua potência de transmissão.

- 3) Estado de Acesso. A transição do estado de *Idle* para o de acesso se dá quando a EM é requisitada a mandar alguma mensagem em algum dos canais de acesso. Estas mensagens podem ser:
 - a) Mensagem de registro – quando a EM necessita fazer uma atualização de sua localização.
 - b) Mensagem de originação – quando a EM quer realizar uma chamada e ocupar um canal de tráfego.
 - c) Resposta a um *Paging* – logo após ter recebido alguma requisição pelo canal de *paging* do enlace direto.
 - d) Mensagem de ordem – quando ocorre uma troca limitada de mensagens entre ERB e EM, sem que tenha sido estabelecido um canal de tráfego para isso. No enlace direto, instruções do sistema são enviadas pela rede através do canal de *paging*.

- 4) Estágio de controle durante a chamada. A EM passa a este estágio, quando recebe da rede confirmação de que conseguiu acessar um canal de tráfego. Neste estágio, a EM deve realizar as seguintes tarefas:
 - a) Inicializar o canal de tráfego, após receber transmissão no canal de tráfego do enlace direto designado pela rede para a chamada.
 - b) Transmitir e receber os pacotes de informação enquanto perdurar a chamada. Durante este período de conversação, a rede pode enviar

- comandos e informações do sistema para a EM através do próprio canal de tráfego do enlace direto utilizando a técnica *Blank & Burst*.
- c) Liberação do canal de tráfego após o término da conversação.

3.7. TIPOS DE HANDOFFS DO CDMA

O sistema CDMA possui o mais complexo e completo sistema de *handoffs* implementados em redes móveis, pois tanto as EMs quanto as ERBs monitoram a qualidade do enlace rádio e podem solicitar o início de um procedimento de *handoff*.

Os *handoffs* no sistema IS-95 ocorrem pelos mais variados motivos, dentre eles, quando a rede detecta que determinada ERB está sobrecarregada, então decide redistribuir melhor seus usuários. Quando não é mais possível sincronizar o sinal recebido indicando que a EM não se encontra mais na área de cobertura da ERB que originalmente a servia. Quando a EM detecta que o nível do canal piloto está abaixo de um limiar predeterminado. Ou ainda, quando através de mecanismos de controle de potência, a ERB ordena que a EM aumente muito seu nível de potência de transmissão, excedendo o limiar máximo de operação permitido, forçando a EM naquele momento a sintonizar-se em outra ERB do sistema, que esteja com melhores condições de manter comunicação.

Partindo destes detalhes apresentados, o CDMA apresenta alguns conceitos de *handoffs* bastante interessantes, que serão apresentados agora com um pouco mais de detalhes:

3.7.1. SOFT HANDOFF

Devido ao sistema CDMA utilizar receptores do tipo *Rake* (ancinho), tanto nas ERBs (com 4 elementos) quanto nas EMs (com 3 elementos), que permitem combinar amostras de multipercursos do sinal de interesse, que reforçam a intensidade e a qualidade do sinal de interesse recebido, além de permitir ao sistema operar com reuso de frequência igual a 1. É que torna possível a materialização do *soft handoff*, pois ocorre quando duas ERBs ou setores recebem e transmitem simultaneamente a mesma informação de uma comunicação com a mesma EM, por trajetos diferentes.

Desta forma, quando for necessário ocorrer troca de canal ocupado pelo usuário em movimento, por exemplo, esta não será perceptível ao mesmo, tendo em vista que sua comunicação está estabelecida e garantida com mais de uma ERB.

O único inconveniente deste tipo de *handoff* fica por conta da parte fixa da rede, que se congestiona porque, necessariamente, desprende o dobro de esforços para realização de sinalização, controle e comando com apenas um único usuário.

Por outro lado, se for feito um bom gerenciamento destes recursos, o *soft handoff* funciona como um descongestionante dos recursos rádio no sistema CDMA, pois permite que o operador da rede tenha flexibilidade para redistribuir os usuários pela rede de forma bastante eficiente.

3.7.2. HARD HANDOFF

O *hard handoff* ocorre nos sistemas CDMA, quando uma EM, que está em movimento entre duas ERBs não sincronizadas entre si, ou quando, na ocasião do *handoff*, utilizam portadoras RF diferentes. Este tipo de *handoff* pode ser iniciado tanto pela EM (*Mobile Assisted Handoff*), quanto pela ERB (*Base Station Assisted Handoff*), que monitoram constantemente a qualidade dos recursos rádios do sistema.

Neste procedimento recursivo da rede, o usuário percebe nítidamente a interrupção momentânea da chamada, e em alguns casos mais críticos, ocorre inclusive a perda total da chamada, forçando o usuário a realizar rediscagem da chamada.

3.8. CONTROLE DE POTÊNCIA DO SISTEMA CDMA

Para operar com bom desempenho, o CDMA precisa ter um rigoroso controle de potência de transmissão, não somente para reduzir a interferência entre células vizinha, mas principalmente para reduzir a interferência INTRA-CELULAR, tendo em vista o fato de se utilizar, no sistema IS-95, fator de reuso de frequência igual a 1.

O sistema CDMA não funciona sem um mecanismo preciso de controle de potência, devido ao fato de seu princípio de funcionamento basear-se em transmitir múltiplos usuários, na mesma faixa de frequência, próximo ao patamar de ruído, diferenciando seus canais apenas por códigos ortogonais.

Pode-se concluir, sem maiores problemas, que se por acaso algum usuário vier a aumentar seu limiar de potência de transmissão, estará sobrepondo seu sinal aos demais usuários, que estiverem naquele momento compartilhando a mesma portadora do sistema em questão.

Na FIG. 3.12, é apresentada uma ilustração do processo de acesso ao meio no sistema CDMA:

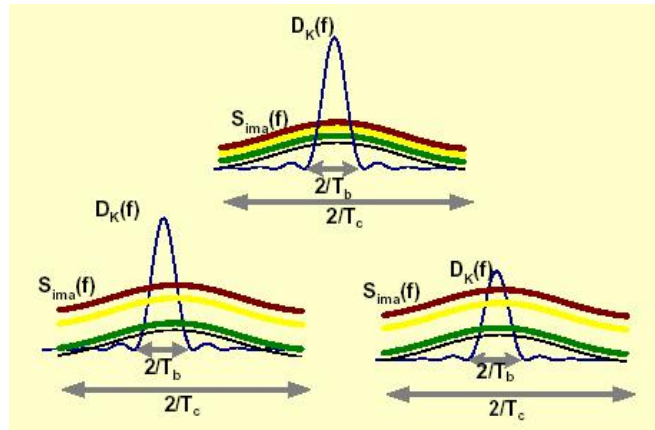


FIG. 3.12 Controle de potência no CDMA

Vale ressaltar que nas tecnologias de terceira geração muitos dos conceitos apresentados no sistema IS-95 serão válidos, onde apenas serão feitas referências às peculiaridades de cada modificação introduzida para cada nova tecnologia.

3.9. COBERTURA CDMA

A cobertura Mundial dos sistemas móveis do tipo CDMA, apesar de serem titulados como os sistemas de capacidade infinita e com possibilidade de reuso um (situação ideal), não permitiu que se pudesse investir em uma expressiva expansão deste sistema inicialmente como se previu.

Apenas os Estados Unidos e a Coreia apostaram na idéia do sistema CDMA e investiram no desenvolvimento desta tecnologia, que, como se foi mencionado anteriormente, é de propriedade da empresa Norte-americana Qualcomm. Devido, principalmente, ao CDMA ser uma tecnologia proprietária, apenas alguns países adotaram esta tecnologia como o principal padrão para as suas redes móveis celulares. Muitas das vezes esta escolha teve influência muito mais politico-econômica do que propriamente técnica, devido à pressão indireta que os Estados Unidos exerciam sobre estes países que o tinham como aliado econômico.

Nesta situação, tem-se como exemplo o caso do Brasil, que inicialmente adotou o CDMA como sendo o principal padrão para as redes móveis existentes, herdadas dos sistemas AMPS de primeira geração. Na época, já se havia idéia real do potencial da rede GSM, inclusive de sua possibilidade de prover cobertura mundial, pois na Europa e em grande parte do mundo, já se fazia uso dos sistemas GSM.

Na FIG. 3.13 abaixo, apresenta-se o percentual de penetração e utilização das diferentes tecnologias móveis celulares no mundo. Vale notar que no percentual apresentado para a tecnologia CDMA já estão inclusos os serviços de 3G, pois como será mostrado mais à frente a evolução destas redes ocorre de forma suave e perfeitamente compatível.

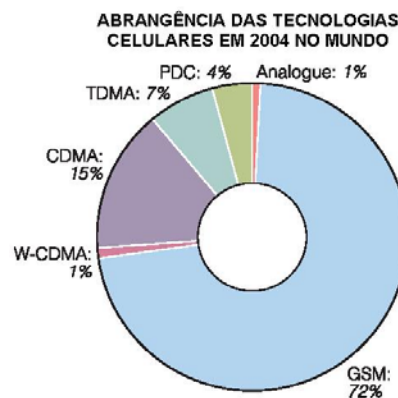


FIG. 3.13 Penetração Mundial das diversas técnicas Móveis

Da FIG. 3.13, pode-se concluir que grande parte do sucesso atingido pelo GSM se deve pelo fato de permitir compatibilidade para cobertura em outras redes GSM no mundo, dependendo apenas de acordos comerciais e não de viabilidade tecnológica, tendo em vista que esta tecnologia foi desenvolvida inicialmente com este propósito também.

4. IMT-2000 – OS SISTEMAS DE TERCEIRA GERAÇÃO CELULAR

Frente a grande aceitação do mercado mundial dos serviços de telefonia móvel, a sociedade vem influenciando e representando o incentivo principal para o desenvolvimento e evolução das redes móveis celulares. Na busca incansável por oferecer alta qualidade de serviço (QoS) tanto para serviços de voz quanto para serviços de dados, a telefonia móvel não poderia ficar para trás na corrida tecnológica e deixar de desenvolver e oferecer capacidade de tráfego de dados em altas taxas, seguindo o modelo de serviços ofertados atualmente nas redes fixas.

Para as redes móveis, as metas de vazão efetiva de dados são baseadas nos seguintes limiares: usuários com alta mobilidade (200km/h) taxa para *download* de dados de 144kbps, usuários com pouca mobilidade (pedestre) taxa para *download* de dados de 384kbps e por fim, usuários parados (ambiente interno) taxa para *download* de dados de 2Mbps.

Para tanto, o meio científico vem buscando aprimorar cada vez mais as tecnologias móveis existentes, a fim de que se atinjam todas as metas especificadas para os serviços da terceira geração móvel, objetivando manter desta forma, as principais características físicas existentes atualmente nas redes celulares, para que seja minimizado ao máximo o custo desta evolução e, conseqüentemente, que se permita efetivá-la de forma suave e gradativa, mantendo-se sempre este custo dentro dos limites razoáveis e seguros em face da magnitude do investimento necessário para o feito. (LEE & MILLER, 1998), (Holma & TOSKALA, 2000), (OJANPERÄ & PRASED, 1998), (ERICSSON, AB 2003), (MOTOROLA, 2000).

As propostas apresentadas e aceitas pelos organismos internacionais como sendo a Terceira Geração celular, não agradaram muito às grandes operadoras de redes móveis TDMA, tendo em vista que em todos os fóruns de pesquisa, houve uma convergência unânime para a utilização da tecnologia CDMA, como sendo a técnica de acesso ao meio das tecnologias de Terceira Geração.

Este fato causou enorme impacto nos planos de evolução da tecnologia mais utilizada no mundo – as redes GSMs. Pois esta evolução implicaria não só

modificação de todo o seu sistema rádio, mas também a completa inutilização e substituição imediata das EMs operantes atualmente no mundo GSM. Desta forma, a migração não ocorreria de forma suave e complementar, como sempre se é almejado pelo ponto de vista macro-econômico de mercado. Certamente estes fatores resultariam em um custo altíssimo envolvido no processo evolutivo, e que obviamente em última instância, deveria ser absorvido pelo usuário final em proporções inviáveis a curto e médio prazos.

Já para o caso do IS-95, esta evolução segundo as especificações ocorre de maneira ideal. Com baixo custo relativo, tendo em vista que há uma continuidade na tecnologia de acesso ao meio físico, o que não eleva os custos de forma insustentável, devido a possibilidade da ocorrência de migração gradual, suave e totalmente compatível com o IS-95, principalmente pelo ponto de vista das EMs de assinantes existentes, que poderão continuar a utilizar seus terminais CDMA 2G normalmente, e somente trocarem por um terminal CDMA 3G, quando fosse por sua própria conveniência.

Na FIG. 4.1, é apresentado um diagrama esquemático sobre a tendência na evolução das redes móveis celulares:

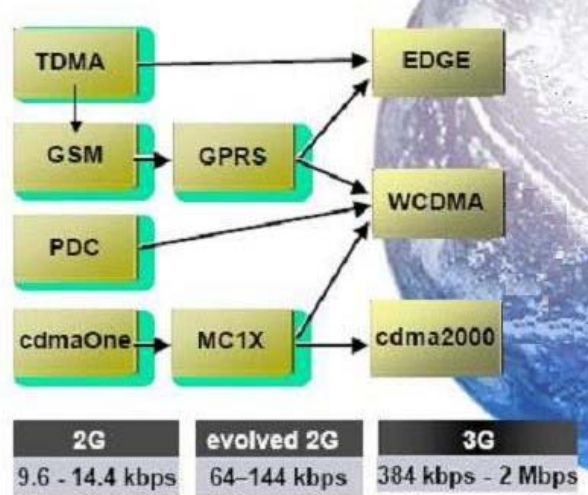


FIG. 4.1 Panorama das Comunicações móveis

A seguir serão apresentadas as propostas tecnológicas mais importantes para a terceira geração celular.

4.1. SISTEMA WCDMA OU UMTS

O *Wide Band CDMA (WCDMA)* ou *Universal Mobile Terrestrial System (UMTS)* é o padrão adotado como sendo o sucessor (3G) do padrão GSM (2G). Um fato curioso, que merece o devido destaque pelo ponto de vista protencionista da tradicional tecnologia TDMA, é que o UMTS utiliza tecnologia de múltiplo acesso do tipo CDMA com seqüência direta, onde os vários usuários serão identificados por códigos que serão espalhados pela mesma forma como ocorre no IS-95.

Estes usuários também serão diferenciados no sistema UMTS como era feito no IS-95, através do uso do conceito do código de WALSH utilizando a matriz de Hadamard. Sua única diferença neste caso para o do IS-95 é que, no UMTS, há um aumento substancial do número de linhas e colunas da matriz de Hadamard em relação aos apresentados originalmente na versão do IS-95 (Matriz 64x64).

A finalidade principal é prover aumento imediato na capacidade do sistema em termos do número de canais disponíveis para usuários, além de permitir maior ganho de espalhamento – possuindo taxa de espalhamento de 3,84Mcps (duração do quadro de 10ms, 2560 chips/quadro, e 15 *slots* no total. Logo, $100 \times 15 \times 2560 = 3,84 \text{ Mcps}$), tudo isso em fase e quadratura.

Em segundo plano e talvez o mais relevante de todos, prover múltiplos canais de tráfego simultâneos a um mesmo usuário para aumentar sua vazão de dados final resultante. Vale ressaltar que a taxa de cada usuário varia adaptativamente quadro a quadro, devido às instabilidades das condições do canal de propagação, mobilidade do usuário, etc.

Outro fator importante que diferencia o UMTS do sistema IS-95 é o fato de que são gerados sinais piloto tanto no enlace direto (Nó B -> Estação Móvel), quanto no enlace reverso (Estação Móvel -> Nó B), o que permite que se realize detecção coerente nos dois extremos. Esta versão CDMA de 3G será totalmente síncrona, tanto no enlace direto quanto no reverso.

O padrão utiliza técnica de acesso do tipo FDMA/CDMA-DS, onde seu espectro é subdividido em grandes portadoras FDMA de 5MHz aproximadamente

em cada sentido de transmissão (uma para o tráfego no enlace direto e outra para o enlace reverso). Uma outra característica importante encontrada no sistema UMTS é que, para o tráfego de dados, além do tradicional QPSK já utilizado para as taxas mais baixas na versão do IS-95 (CDMA), será também utilizado o 16-QAM para usuários que solicitem e estejam em condições favoráveis de receber as taxas mais altas atingidas pelo sistema (teóricos 2,8Mbps).

Segundo a especificação do WCDMA, a taxa efetiva de *download* para usuário pode variar desde 1,5kbps até 2,8Mbps. Vale ressaltar que esta última taxa é teórica e só seria atingida, na prática, em situações ideais e com a utilização de multicanais com o mesmo usuário.

4.1.1. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA PARTE FÍSICA DA REDE UMTS

Algumas modificações foram inseridas na parte física de rádio-acesso da rede GSM, para que se fosse possível realizar a evolução para o sistema de 3G (UMTS). Certamente que a própria mudança radical da nomenclatura tradicional das redes TDMA ocorreu principalmente por uma questão do impacto e rejeição tecnológica causada no mercado, além de ter sido uma forte estratégia de marketing associada a estas necessárias mudanças, devido as novas peculiaridades estruturais deste novo sistema, que na ocasião de sua propositura gerou grande contestação.

Dentre as mudanças, deve-se citar a mais importante delas como sendo o Nó B, que antes, no GSM, era conhecido como Estação Rádio Base (ERB), e que agora recebeu a nova nomenclatura, principalmente devido a necessidade de total substituição dos equipamentos da rede de acesso rádio. Além, é claro, de possuir maior complexidade pela exigência de se transmitir pacotes de dados a maiores taxas com multicanais por usuários e etc.

A FIG. 4.2, compara a estrutura da rede na era GSM, com a estrutura proposta para a era UMTS:

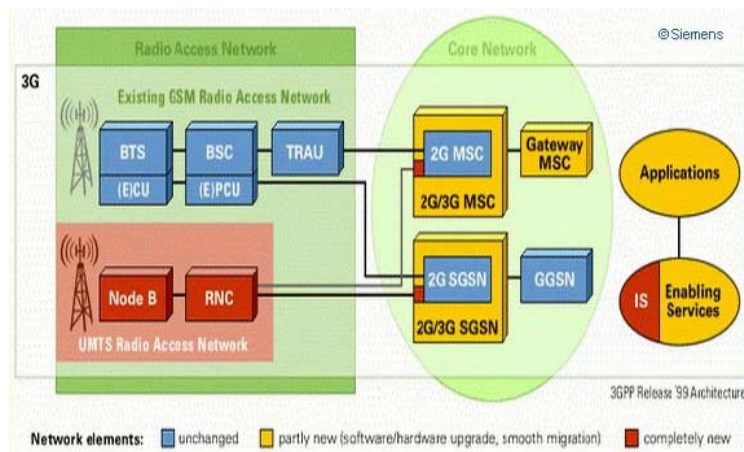


FIG. 4.2 Comparação entre estrutura de rede GSM e UMTS

Da FIG. 4.2, nota-se que muito da rede fixa GSM será mantido, devido a já possuir características estruturais de rede adequadas à transmissão de dados que foram herdadas pela implementação do sistema GPRS/EDGE.

Praticamente nenhum elemento novo deve ser inserido, apenas algumas substituições de softwares e unidades controladoras adicionais como forma de atualização e adequação da rede móvel existente (*upgrade*).

Em contra-partida nota-se, nesta mesma FIG. 4.2, que a rede de acesso rádio será totalmente substituída devido a incompatibilidade dos dois sistemas de acesso ao meio, pois passaria de acesso TDMA a acesso CDMA. Tal substituição exigiria um custo de investimento quase que da mesma ordem de grandeza que se teria ao implementar uma nova rede móvel celular. Seria necessário substituir também todas as EMs existentes, devido ao fato de serem GSM (TDMA) e não permitirem compatibilidade com a nova técnica de acesso ao meio.

4.1.2. ARQUITETURA BÁSICA DA REDE UMTS

Neste capítulo serão abordados detalhes sobre as características funcionais deste novo padrão e será dado enfoque no atingimento das altas taxas de dados conseguidas com o UMTS. Na FIG. 4.3 abaixo, um diagrama simplificado da

topologia de uma rede UMTS que ilustra alguns novos elementos, que serão discutidos no decorrer deste capítulo.

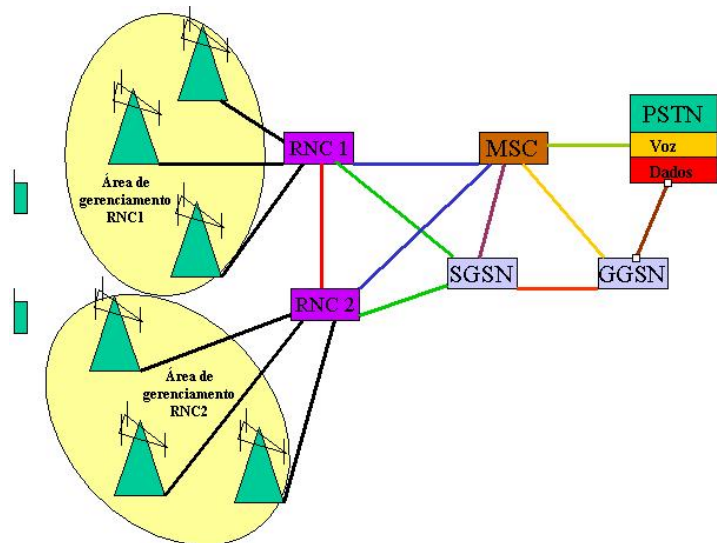


FIG. 4.3 Características da rede UMTS

4.1.3. RNC – RADIO NETWORK CONTROLLER

Este é o elemento da rede responsável por controlar um grupo de Nós B da rede. Sua principal função é controlar a carga de tarefas de comando e controle da rede, como admissão e alocação de códigos nos enlaces estabelecidos com EMs, além de gestão do congestionamento do tráfego de dados nas células.

Os RNCs podem assumir dois diferentes papéis na rede: O de Servidor RNC (SRNC) e/ou o de Transição RNC (*Drift RNC*).

4.1.3.1. SRNC – SERVIDOR RNC

O SRNC é assim chamado quando realiza a terminação do enlace do circuito através da interface de conexão com a Estação Móvel. Tal RNC será responsável pela gestão das funções de sinalização com a parte fixa da rede (*core network*).

Realiza também funções de camada de nível 2 (MAC) na comunicação com o terminal, além de gerenciar comandos de controle de potência do tipo *outer Loop*.

Este servidor é quem decide quando um determinado terminal móvel deve realizar *soft-handoff*. Cada Estação Móvel (EM) se comunica apenas com um único SRNC, ou seja, desde o momento em que a EM estabelece uma comunicação de dados pela rede, independentemente de estar em movimento e passar a ser atendida via *handoff* por um Nó B controlado por outro RNC, todo gerenciamento desta conexão será mantido e controlado pelo SRNC originário da comunicação. Ocorre uma transação hierárquica entre RNCs, a fim de que seja garantida a troca de dados de comando e controle da conexão, através de qualquer RNC de transição (DRNC) por onde o Terminal Móvel circular e enquanto durar esta comunicação.

4.1.3.2. DRNC – DRIFT RNC

O DRNC é assim chamado quando realiza o papel secundário em uma conexão com um terminal móvel, pois ele é responsável por manter a conexão anteriormente estabelecida e controlar os recursos rádio de sua área de cobertura. Por exemplo, o DRNC ao receber uma Estação Móvel (EM), em sua área de atuação, já em comunicação, apenas decidirá sobre *handoffs* e controle de potência dentro de sua área de cobertura. O DRNC nunca realiza função de camada de nível 2 (MAC) em uma comunicação em curso, pois conduz a informação de forma transparente até o SRNC responsável pela gerência desta conexão e daí até o *Core Network* (CN).

É importante ressaltar, que no sistema UMTS é possível haver mais de um DRNC para garantir a comunicação, basta que o terminal móvel esteja em movimento e percorra diferentes áreas de cobertura, enquanto em comunicação.

Uma observação importante a ser feita é que a condição de Drift RNC ocorre apenas para determinadas EMs devido a sua condição de mobilidade, pois para o ponto de vista do *Core Network* (CN), todos estes elementos podem operar como SRNC ou DRNC, dependendo apenas da oportunidade de cada Terminal móvel, no

momento do estabelecimento de chamada, ou seja, nada impede que o mesmo RNC funcione para um assinante A como DRNC (oriundo de outro RNC via *handoff*) e para um outro assinante B como um SRNC (originador da comunicação).

4.1.4. TAXA DE TRANSMISSÃO NO ENLACE REVERSO DO WCDMA

O transporte de dados no enlace reverso do sistema WCDMA, ocorre sempre em um canal específico conhecido por DPDCH (*Dedicated Physical Data Channel*), que possui ganho de espalhamento variável entre 4 e 256 chipsps/bitpsps, permitindo-se ainda a cada usuário utilizar de 4 a 6 códigos em paralelo para aumento de taxa de dados transmitida resultante por EM ativa no enlace reverso.

Na TAB. 4.1, apresentam-se taxas de dados obtidas teoricamente no enlace reverso:

Ganho de Espalhamento	Taxa de bit do DPDCH (kb/s)	Taxa máxima do usuário (kb/s)
256	15	7,5
128	30	15
64	60	30
32	120	60
16	240	120
8	480	240
4	960	480
4 c/ 6 códigos em paralelo	5740	2800

TAB. 4.1 Taxas do Enlace Reverso no UMTS

Pode-se concluir da tabela acima, que quanto menor for a taxa de bits de informação útil, maior será o ganho de espalhamento e, de modo análogo, quanto maior a taxa de bits de informação útil, menor o ganho de espalhamento o será. Este raciocínio é facilmente entendido, pois o ganho de espalhamento possui a seguinte expressão:

$$G_{esp} = \frac{R_{chip}}{R_{bits}}$$

Logo, se a taxa de espalhamento (R_{chip}) possui valor fixo, e a taxa de bits (R_{bits}) aumenta, o Ganho de Espalhamento (G_{esp}) diminui por ser uma grandeza inversamente proporcional a taxa de bits. A contrário senso, quando a taxa de bits (R_{bits}) diminui, o Ganho de Espalhamento (G_{esp}) aumenta proporcionalmente, devido a mesma propriedade em regra, na relação matemática.

4.1.5. TAXA DE TRANSMISSÃO NO ENLACE DIRETO DO WCDMA

O transporte de dados no enlace direto do sistema WCDMA, ocorre sempre em um canal específico conhecido por DDPCH (*Downlink Dedicated Physical Channel*), que possui ganho de espalhamento variável entre 4 e 512. Também é possível uma configuração de ganho 4 com 3 códigos em paralelo servindo um mesmo usuário, a fim de que se assegure a alta taxa de dados resultante, recebida por cada EM ativa no enlace direto.

Deve-se notar que a taxa líquida máxima recebida por usuário no enlace direto varia entre 1,5kbps e 2,8Mbps, além disso, a taxa total de espalhamento para qualquer configuração de taxa de bits de informação é de 7,68Mcps, pois o espalhamento ocorre sempre em fase e quadratura com taxas idênticas de 3,84Mcps.

Abaixo é apresentada a TAB. 4.2 exemplificativa da taxa de dados referida no enlace direto para o caso de se utilizar em diferentes tipos de modulação digital com 15 códigos em paralelo com o mesmo usuário:

Modulação	Taxa de codificação efetiva	Máxima Vazão (Mb/s)
QPSK	1/4	1,8
QPSK	2/4	3,6
QPSK	3/4	5,3
QAM-16	2/4	7,2
QAM-16	3/4	10,7

TAB. 4.2 Taxa x Esquema de modulação no Enlace direto

É importante notar que o tipo de modulação também será alterada à medida que a taxa de dados aumenta, pois a eficiência espectral dobra com o uso do 16-QAM em relação ao QPSK.

$$M=2^k$$

Onde M é o número de níveis/estados possíveis da portadora;

E k é o número de bits necessários para representar estes níveis em código binário.

Para o 16-QAM, M=16 e k=4, código convolucional a taxa 2/4 tem-se taxa de dados efetiva de 7,2 Mbps;

Para o QPSK, M=4 e k=2, código convolucional a taxa 2/4 tem-se taxa de dados efetiva de 3,6 Mbps.

Apenas por mudar o tipo de modulação digital utilizada, já se obtém o dobro no ganho da taxa efetiva de dados no enlace direto.

4.1.6. COBERTURA ATUAL DO WCDMA NO MUNDO

Apenas alguns países no mundo investiram na implementação do sistema WCDMA (sucessor 3G do sistema GSM). Para maiores detalhes percentuais vide FIG. 3.13. Dentre eles, pode-se dizer que em sua grande maioria são países europeus desenvolvidos, que mesmo em face de grandes custos de implementação, possuem potenciais mercados consumidores que justificam tal investimento (para maiores detalhes sobre países que operem serviços 3G (WCDMA) consultar o sitio www.gsmworld.com).

Já os países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, onde os mercados consumidores não respondem rapidamente ao retorno do investimento necessário, as redes móveis celulares permanecerão um pouco mais em sua segunda geração e segunda geração evoluída, principalmente devido ao fato do aparecimento de alternativas promissoras como as WLANs, que serão apresentadas nos capítulos seguintes.

4.2. SISTEMA CDMA 2000

O sistema CDMA 2000 é uma solução de terceira geração (3G) baseada no sistema IS-95. Naturalmente, é uma evolução do padrão de redes móveis celulares 2G e suporta os serviços de 3G definidos pela União Internacional de Telecomunicações (ITU - *International Telecommunications Union*) para o IMT-2000. As redes 3G são capazes de disponibilizar serviços sem fio com melhor desempenho, menor custo efetivo e aumento significativo de conteúdo multimídia.

Na FIG. 4.4, é apresentado um esquema para ilustração da proposta de evolução para o sistema CDMA.

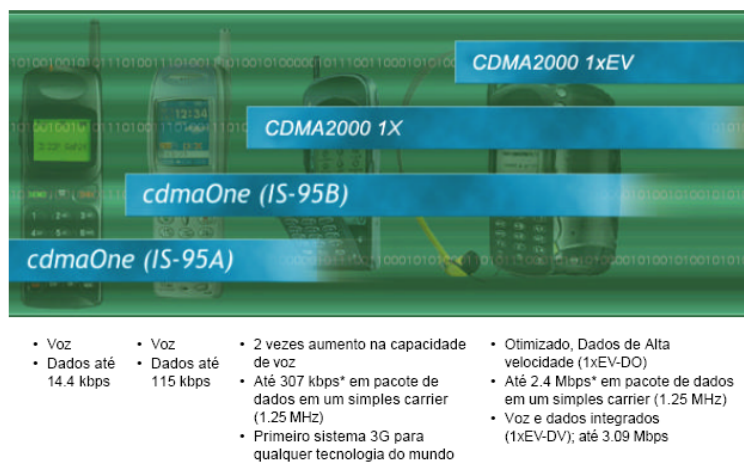


FIG. 4.4 Evolução do CDMA

Os sistemas IS-95 e CDMA 2000 estão baseados na tecnologia de múltiplo acesso por divisão por código. Estas redes transmitem conversações codificadas e dados sobre uma faixa de espectro de freqüência limitado a 1,25 MHz, permitindo que um grande número de usuários compartilhem, simultaneamente, esta mesma portadora.

O CDMA 2000 é um sistema da família de acesso de Rádio do tipo CDMA que possui interface compatível para viabilizar, promover e facilitar a convergência das redes de terceira geração. O maior objetivo no desenvolvimento deste sistema é, sem dúvidas, promover cobertura global e transparente entre os dois diferentes e emergentes sistemas de Terceira Geração Móvel - O CDMA2000 e o WCDMA.

Segundo as especificações das redes na versão CDMA 2000, é possível oferecimento de compatibilidade reversa, ou seja, existe a possibilidade de coexistência pacífica e complementar na evolução do sistema IS-95 para o CDMA 2000, o que protege os investimentos remetidos pelas operadoras de sistemas móveis CDMA de Segunda Geração, além de não causar grandes transtornos para os existentes e operantes usuários das redes CDMA de Segunda Geração. Isto significa que ambos os terminais IS-95 e CDMA-2000 podem operar em áreas de cobertura de ambas as redes.

O padrão CDMA 2000 para suporte a rede de dados se desenvolveu em duas fases:

A primeira fase do CDMA2000 - ou CDMA2000 1X – é capaz de disponibilizar picos de taxas de dados de 153Kbps.

A segunda fase – denominada CDMA2000 1xEV - as taxas de dados serão superiores a 2 Mbps.

4.2.1. CDMA 2000 1X

O sistema CDMA 2000 1X – obteve a especificação de sua versão concluída em 2000, quando pela primeira vez foi publicado pela Associação das Indústrias de Telecomunicações (TIA - *Telecommunications Industry Association*). Em sua proposta, o CDMA 2000 1X oferece aproximadamente o dobro da capacidade de voz do IS-95, atinge picos de taxas de dados no enlace direto de até 153Kbps, permite compatibilidade reversa com as redes IS-95 existentes, além de muitas outras melhorias de desempenho.

A denominação 1X no padrão refere-se à implementação de CDMA 2000 dentro das alocações de espectro existentes para portadoras de 1,25 MHz. O termo técnico é derivado de N=1, ou seja, uso de uma única subportadora FDMA de 1,25 MHz como no sistema IS-95. Em outras palavras, este 1X significa 1,25 MHz por subportadora.

Outra grande vantagem do sistema CDMA2000 1X é que pode ser implementado no espectro CDMA existente atualmente ou em novas alocações de espectro.

4.2.2. CDMA 2000 1xEV OU HDR (HIGH DATA RATE)

A evolução da versão do CDMA 2000 além de 1X é atualmente denominada CDMA 2000 1xEV. Este sistema 1xEV será dividido em dois estágios: O 1xEV-DO e o 1xEV-DV.

O primeiro estágio, 1xEV-DO, tem como significado para EV-DO - *EVolution Data Only*, ou Somente Evolução na parte de Dados. Este padrão é capaz de prover taxas de dados mais altas do que nos sistemas 1X. Para tanto, o sistema requer uma portadora independente para tráfego de dados. Contudo, esta portadora é capaz de realizar *handoffs* com uma portadora do sistema CDMA 2000 1X, e se for necessário, voltar a oferecer, simultaneamente, serviços de voz e dados sob a mesma portadora.

Ao alocar uma portadora em separado para dados, as operadoras poderão fornecer picos de taxas acima de 2 Mbps (melhor caso) aos seus clientes de dados, hajam vista os poderosos algoritmos corretores de erros atualmente implementados e disponíveis nestes sistemas.

O segundo estágio 1xEV-DV, tem como significado para EV-DV -*EVolution Data and Voice*, ou Evolução em Dados e Voz. Este padrão disponibilizará serviços de dados e voz para o CDMA 2000 novamente em uma mesma portadora de 1,25MHz. Nesta nova filosofia do padrão, a portadora não somente transportará voz e dados em alta velocidade, mas também disponibilizará serviços com padrão QoS para entrega de pacote em tempo real, oriundos de aplicações específicas como ocorre, por exemplo, em serviços de video conferência.

Ambos os estágios de evolução do CDMA 2000 1xEV fornecem serviços avançados do CDMA 2000 usando uma portadora de 1,25 MHz. Desta forma, podemos dizer que a evolução do CDMA 2000 continuará, portanto, possibilitando

compatibilidade reversa com as redes CDMA nas versões anteriores e compatibilidade à frente com cada estágio seguinte de sua evolução.

Na FIG. 4.5, é apresentada uma estimativa da escala de evolução para o sistema CDMA:

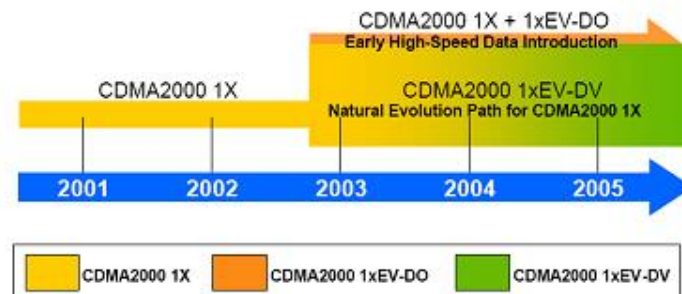


FIG. 4.5 CDMA 2000

4.2.3. VISÃO GERAL DO SISTEMA

Nos sistemas da família CDMA 2000 NX-EV, os Pontos de Acesso ou ERBs estão sempre sincronizadas com o sistema e também com as EMs servidas na região de cobertura, devido a implementação de sinal piloto nos dois sentidos: Enlace direto e reverso. Isto permite que seja realizado tanto no enlace direto quanto no enlace reverso detecção de sinal coerente, além de permitir que haja maior número de *soft handoffs*, o que diminui congestionamentos no enlace rádio, permitindo aumento considerável da capacidade deste sistema.

Em contra-partida, o aumento de *soft handoffs* nestes sistemas, congestionam a parte fixa da rede devido ao aumento de rotinas de controle e gerenciamento relativos a alta troca de sinalização.

Um outro fator positivo, devido a total sincronização do sistema, é a diminuição da necessidade de o sistema realizar *hard handoffs*, onde ocorre, na maioria das vezes, a perda da chamada.

Outra novidade incremental do sistema CDMA 2000 NX-EV também está na taxa de espalhamento espectral ser escalonável segundo a expressão $1,2288 \times N$ Mcps, pois segue a mesma característica de proporcionalidade do valor de N, onde N indica o número de portadoras de 1,25MHz utilizadas pelo sistema em questão.

Este será o fator responsável pela nomenclatura comercial do sistema no mercado. Por exemplo, CDMA 2000 1X, CDMA 2000 3X, CDMA 2000 6X, etc.

É baseado neste princípio, que se pode dizer que o sistema CDMA 2000 NX permite operação de cobertura internacional, inclusive em compatibilidade com o sistema 3G (WCDMA) oriundo das redes GSMs.

Abaixo, um exemplo de especificação e dimensionamento para o CDMA 2000 NX-EV:

O espaçamento entre portadoras é caracterizado da seguinte forma:

$1,25 \times N \text{ Mhz} + 2g$ com faixa de guarda de 625 KHz.

Ex.: CDMA 2000 3X ocupa faixa de 5MHz e taxa de espalhamento Espectral de aproximadamente $3 \times 1,2288\text{Mcps}$ (Permite compatibilidade com a proposta do WCDMA, com pequenos ajustes).

Para o CDMA 2000 NX-EV atingir altas taxas de transmissão no enlace direto (sentido ERB(PA) -> EM), utiliza-se o conceito de recepção multicanais por EM. O sinal em altas taxas é “quebrado” em taxas menores, que são então transmitidos à EM em N diferentes canais (N diferentes códigos de Walsh-Haddamar).

Vale ressaltar que nesta nova proposta de Terceira Geração CDMA, os usuários não mais recebem simultaneamente dados no enlace direto. Ocorre uma Multiplexação por Divisão no Tempo (TDM) que organizará de forma criteriosa, janelas de tempos em que cada usuário estará realizando o *Download* de informações da ERB, ou Ponto de Acesso, de forma cíclica. Desta maneira, é possível garantir que haja uma distribuição de capacidade mais justa entre todos os usuários de dados operantes, na rede em um dado período de análise.

Também pode-se utilizar o conceito de usuário com multicanais para o provimento de diversidade no enlace direto, pois a informação de determinado usuário ativo, pode ser transmitida, de forma redundante/espelhada, por diversas ERBs ou Pontos de Acesso do sistema que se encontrem em estado ativo, ou seja, em sintonia (comunicação), com uma determinada EM.

O grande aliado neste novo conceito de recepção multicanais foi motivado pelo receptor *Rake* (ancinho), já anteriormente utilizado nos sistemas CDMA na

versão IS-95 para realizar *soft-handoffs* e reforçar intensidade de sinais multipercurso (cópias do sinal transmitido que chegam em diferentes fases e tempos ao receptor do móvel, devido aos diferentes caminhos percorridos por traçado de raios).

O tipo de Modulação utilizada nos Sistemas CDMA 2000 NX-EV é o QPSK, com independentes seqüências PN à taxa individual de 1,2288Mcps gerando uma taxa total no espalhamento de 2,4576 Mcps. Diferentemente de como ocorre no antecessor IS-95, a modulação era obtida pela utilização da mesma seqüência PN de comprimento curto combinada em fase e quadratura gerando a mesma taxa de espalhamento final de 1,2288Mcps. Esta adaptação por si só, já dobra sua capacidade de dados em relação ao sistema IS-95 mesmo operando com $N=1$ (CDMA 2000 1X – 1,25MHz).

A outra modificação, bastante significativa na história da evolução dos sistemas CDMA, é a transmissão de Sinais pilotos nas duas direções (enlace direto e também no reverso). Múltiplos pilotos são usados para permitir uso de antenas inteligentes trabalhando com múltiplos feixes e códigos.

Diferentemente do IS-95, o controle de potência no CDMA 2000 somente é feito no Enlace Reverso, pois no Enlace Direto a ERB ou Ponto de Acesso não se preocupa mais em gerenciar sua potência de transmissão, para atender diferenciadamente usuários pela célula. A inovadora filosofia deste sistema é de que o usuário mais próximo da ERB(PA), estará em melhores condições de propagação para receber em maior taxa, e o mais distante, receberá em menor taxa, até que seja realizado um *Handoff* ou melhore suas condições de propagação para poder, conseqüentemente, elevar sua taxa de *Downlink*. Ou seja, toda negociação de QoS do sistema CDMA 2000 é realizada em função de observações constantes no nível de Eb/No.

No Enlace Reverso, o controle de potência de transmissão das EMs ocorrem basicamente de duas formas: primeiramente devido ao fato de as EMs analisarem a taxa de erro e nível de recepção do sinal canal piloto, recebido da ERB (PA) pelo enlace direto, para que sirva de estimativa inicial da própria perda do canal de propagação. Vale ressaltar que este método não é o principal mecanismo de controle de potência de Enlace Reverso do sistema, ele vale apenas como referência inicial para a EM, até mesmo porquê, a faixa de frequência de enlace

reverso é diversa da do enlace direto, o que modifica completamente o comportamento físico do canal sob o aspecto de propagação.

A forma mais relevante do controle de potência do enlace reverso no sistema CDMA 2000 é realizado justamente por comandos enviados pelas próprias ERBs, ou Pontos de Acesso, às Estações Móveis, para que estas ajustem o nível de potência de seus transmissores, baseado em análise constantemente feita pela rede no nível de recepção do sinal piloto no enlace reverso (gerado pelas EMs), que deve necessariamente estar alocado dentro de um patamar de segurança, a fim de evitar colapsos no sistema de recepção da rede, provocados pela saturação de potência nas antenas de recepção das ERBs ou Pontos de Acesso.

Nos sistemas CDMA 2000 NX-EV surge um novo canal lógico para tráfego de dados utilizados no uplink e downlink, que facilitará o aumento da taxa de transmissão de dados, e que também aumenta o número de possibilidades de o móvel se sintonizar com múltiplas seqüências de Walsh ao mesmo tempo. A este novo canal lógico chamamos SCH - Canal Suplementar encontrados tanto no enlace direto quanto reverso.

4.2.4. ENLACE DIRETO - TAXAS DO CANAL F-FCH, N=1, RS1

Abaixo é apresentada a TAB. 4.3 ilustrativa de como se procede no CDMA 2000 NX-EV com as taxas de convolução e formação de quadros de informação do enlace direto para o canal Fundamental.

Taxa (kb/s)	Duração do quadro (ms)	Bits de info./quadro	CRC (bits)	Cauda (bits)	FEC (taxa)	Repetição	Perfuração	Compr. da seq. de Walsh
9,6	5	24	16	8	1/2	x 1		128
9,6	20	172	12	8	1/2	x 1		128
4,8	20	80	8	8	1/2	x 2		128
2,7	20	40	6	8	1/2	x 4	1:9	128
1,5	20	16	6	8	1/2	x 8	1:5	128

TAB. 4.3 CDMA 2000 EV – Canal Fundamental no Enlace Direto

Como exemplo, será demonstrado o desenvolvimento de cálculo para as taxas de 9,6Kbps (mais alta na escala do *Rate Set 1*) e de 1,5Kbps (menor taxa na escala do *Rate Set 1*).

Para a taxa de 9,6Kbps tem-se:

$$(24+16+8) \times 2 \times (128/5\text{ms}) = 2,4576\text{Mcps} = 2 \times 1,2288\text{Mcps}$$

Para a taxa de 1,5Kbps tem-se:

$$(16+6+8) \times 2 \times 8 \times 4/5 \times 128 \times 50 = 2,4576\text{Mcps} = 2 \times 1,2288\text{Mcps}$$

Vale ressaltar que as seqüências de Walsh dobraram de comprimento em relação ao IS-95 e as taxas de dados variam de acordo com a taxa de codificação (RS1 ou RS2), grau de repetição e tipo de perfuração. No CDMA 2000 NX, a taxa do quadro pode variar dentre 5 e 20 ms. E que sempre são gerados 384 bits por quadro de 20ms antes do espalhamento pela seqüência de Walsh.

4.2.5. ENLACE DIRETO – TAXAS DO CANAL F-SCH, N=1, RS1 E RS2

É apresentado na TAB. 4.4 uma escala ilustrativa de como se procede no CDMA 2000 NX-EV com as taxas de convolução e formação de quadros de informação do enlace direto para o canal Suplementar *Rate Set 1* (adicionado ao sistema CDMA 2000 NX).

Taxa (kb/s)	Bits de info./quadro	CRC (bits)	Cauda (bits)	FEC (taxa)	Comprim. da seq. de Walsh
9,6	168	16	8	½	128
19,2	360	16	8	½	64
38,4	744	16	8	½	32
76,8	1512	16	8	½	16
153,6	3048	16	8	½	8
307,2	6120	16	8	½	4

TAB. 4.4 CDMA 2000 EV – Canal Suplementar no Enlace Direto RS1

Abaixo é apresentada a TAB. 4.5 ilustrativa de como se procede no CDMA 2000 NX-EV com as taxas de convolução e formação de quadros de informação do enlace direto, para o canal Suplementar *Rate Set 2* (adicionado ao sistema CDMA 2000 NX).

Taxa (kb/s)	Bits de info./quadro	CRC (bits)	Cauda (bits)	FEC (taxa)	Perfuração	Compr. da seq. da Walsh
14.4	264	16	8	1/3	1:9	64
28.8	552	16	8	1/3	1:9	32
57.6	1128	16	8	1/3	1:9	16
115.2	2288	16	8	1/3	1:9	8
230.4	4584	16	8	1/3	1:9	4

TAB. 4.5 CDMA 2000 EV – Canal Suplementar no Enlace Direto RS2

Como exemplo, será desenvolvida a memória de cálculo para a taxa de 57,6Kbps (considerada média real alta na escala da família do SCH operando em *Rate Set 2*).

Para a taxa de 57,6Kbps tem-se:

$$(1128+16+8) \times 8/3 = 3072 \text{ bits em } 20\text{ms} = 153,6\text{Ksimb/s.}$$

$$\text{Ou seja, } 153,6\text{Ksimb/s} \times 16 \text{ (seq. Walsh)} = 2,4576 \text{ Mcps.}$$

Vale ressaltar que a codificação a taxa 1/3, com perfuração de 1 bit a cada 9 resulta numa taxa efetiva de 3/8 que oferece melhor proteção que a taxa 1/2. Além disso, a taxa de espalhamento de Walsh decresce com o aumento da taxa efetiva de transmissão de dados.

4.2.6. ENLACE REVERSO - TAXAS DO CANAL R-FCH, RS1 E RS2

Na TAB. 4.6, é apresentada uma tabela ilustrativa de como se procede no CDMA 2000 NX-EV com as taxas de convolução e formação de quadros de informação do enlace reverso, para o Canal Fundamental *Rate Set 1*.

Taxa (kb/s)	Duração do quadro (ms)	Bits de info./quadro	CRC (bits)	Cauda (bits)	FEC (taxa)	Repetição	Perfuração	Compr. da seq. da Walsh
9,6	5	24	16	8	1/4	x 8		4
9,6	20	172	12	8	1/4	x 8		4
4,8	20	80	8	8	1/4	x 16		4
2,7	20	40	6	8	1/4	x 32	1:9	4
1,5	20	16	6	8	1/4	x 64	1:5	4

TAB. 4.6 CDMA 2000 EV – Canal Fundamental no Enlace Reverso – RS1

Da TAB. 4.6 acima, nota-se que as diferenças em relação ao enlace direto são poucas, a menos do comprimento do código de Walsh de espalhamento, que tem seu valor fixo para todas as taxas, além da taxa do código convolucional utilizado no enlace reverso.

Ele foi desenvolvido desta maneira devido a menor necessidade de altas taxas de transmissão no enlace reverso (*upload* menor – menor complexidade no processamento).

A seguir, é apresentada a TAB. 4.7 ilustrativa de como se procede no CDMA 2000 NX-EV com as taxas de convolução e formação de quadros de informação do enlace reverso, para o canal *Fundamental Rate Set 2*.

Taxa (kb/s)	Duração do quadro (ms)	Bits de info./quadro	CRC (bits)	Cauda (bits)	FEC (taxa)	Repetição	Perfuração	Compr. da seq. de Walsh
14,4	20	268	12	8	1/4	x 8	1:3	4
7,2	20	126	10	8	1/4	x 16	1:3	4
3,6	20	56	8	8	1/4	x 32	1:3	4
1,8	20	22	6	8	1/4	x 64	1:3	4

TAB. 4.7 CDMA 2000 EV – Canal Fundamental no Enlace Reverso - RS2

Como exemplo, será desenvolvida memória de cálculo para a taxa de 14,4Kbps (considerada a taxa mais alta na escala do sistema operando em *Rate Set 2*).

Para a taxa de 14,4Kbps tem-se:

$(268+12+8) \times 4 = 4608$ bits, que serão repetidos 8 vezes e perfurados a proporção de 1:3, ficando $4608 \times 8/3 = 12288$ bits por quadro, que serão finalmente espalhados pela seqüência de Walsh de comprimento 4 em cada quadro de 20ms. Ou seja, $12288 \text{ bits} \times 4/20\text{m} = 2,4576\text{Mcps}$.

Vale ressaltar que a codificação a taxa 1/4, com repetição de bits a cada quadro e perfuração de 1 bit a cada 3, resulta numa taxa efetiva de $(4 \times 8/3) = 32/3$, oferecendo proteção infinitamente maior que as taxas praticadas no enlace direto. Além disso, a taxa de espalhamento de Walsh, a título de menor complexidade, possui seu comprimento fixo e com pequeno valor, tendo em vista que a taxa efetiva de dados por quadro já possui valor elevado em todo o processo.

4.2.7. CORBETURA CDMA 2000

No Brasil, as redes CDMA existentes já possuem operantes, em em algumas regiões estratégicas, serviços CDMA de terceira geração. Todavia estes serviços ainda não estão disponíveis por toda a cobertura da rede, ficando restrita a apenas bairros, shoppings, regiões de praias, centros comerciais e regiões de grande atividade econômica. Ou seja, lugares onde haja mercados consumidores com bastante potencial que venham a necessitar utilizar o serviço com frequência.

Para maiores detalhes sobre a cobertura CDMA de terceira geração no Brasil, visitar o sitio (www.vivo.com.br) e pesquisar os serviços de 3G oferecidos pela operadora. Atualmente no Brasil, os serviços de 3G CDMA 2000 EV-DO estão apenas disponíveis em algumas localidades de três cidades brasileiras: São Paulo, Rio de Janeiro e Curitiba.

Obviamente que nos Estados Unidos e Coreia essa cobertura com a 3G está muito mais expressiva. Praticamente toda a cobertura do tipo CDMA americana já oferece os serviços CDMA 2000 EV-DO. Na Coreia acontece da mesma forma, pois seus mercados consumidores são muito poderosos e extremamente consumistas com relação a estes tipos de serviços oferecidos pelas redes móveis.

A partir do próximo capítulo da dissertação, serão abordadas técnicas de redes sem fio (WLANs), que estão sendo desenvolvidas e aprimoradas com o intuito de servir como um serviço complementar de comutação de pacotes sem fio, para utilização nas redes móveis celulares de Segunda e Terceira Gerações, objetivando sempre a melhor utilização e adequação das redes móveis celulares frente aos desafios de se aumentar a capacidade de tráfego de dados destes sistemas.

5. SISTEMA WLAN

Wireless Local Area Network é uma tecnologia desenvolvida ao longo da década de 90, com os trabalhos do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* - IEEE, mas ainda hoje encontra-se em fase de amadurecimento, principalmente em questões relacionadas com qualidade de serviço (QoS) e segurança. (ZAWEL, 2002), (NUNES E BRITO, 2002).

Na TAB. 5.1, são apresentados maiores detalhes sobre o padrão IEEE-802.11:

Item	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Data de regulamentação	Julho de 1997	Setembro de 1999	Setembro de 1999	Outubro de 2003
Banda disponível	83,5 MHz	300 MHz	83,5 MHz	83,5 MHz
Frequência e técnica	2,4 a 2,4835 GHz DSSS e FHSS	5,15 a 5,36 GHz OFDM 5,725 a 5,825 GHz OFDM	2,4 a 2,4835 GHz DSSS	2,4 a 2,4835 GHz DSSS e OFDM
Taxa de TX por Canal	2,1Mbps	de 54 a 6 Mbps	de 11 a 1Mbps	de 54 a 1Mbps

TAB. 5.1 Padrão IEEE-802.11

Inicialmente, essa tecnologia visava a simples interligação de computadores nas residências e pequenos escritórios com taxas de até 2Mbit/s, usando a técnica de espalhamento espectral do tipo conhecido como Salto em Frequência (*Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS*). Porém, com as melhorias alcançadas nas taxas de transmissão que ultrapassaram os 10Mbit/s, com a adoção do espalhamento através da técnica de Espalhamento Espectral de Sequência Direta (*Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS*) e a técnica de Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM*), o aumento substancial do interesse de outros mercados para outras aplicações passou a ser uma rotina, logo começou-se a observar tais redes substituindo projetos de cabeamento estruturado no mercado corporativo ou conectando prédios de grandes empresas.

Na FIG. 5.1, são apresentadas as potencialidades e possibilidades de superação de deficiências dos serviços de dados com a utilização das WLANs:

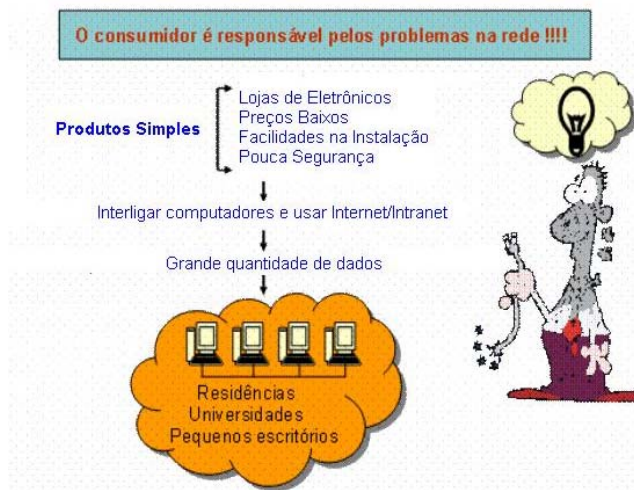


FIG. 5.1 Redes WLANs

A partir do ano 2000, a criatividade do homem gerou novas aplicações denominadas de *hotspots* que passaram a ocupar espaços em centros de convenções, hotéis, shopping, restaurantes, *coffee shops* e aeroportos, dando início a uma nova era, com aplicações voltadas aos serviços públicos de acesso à Internet, criando a sigla PWLAN (Pública WLAN) (ZAWEL, 2002). Essa aplicação, não obstante, criou uma certa sensação de competição com a terceira geração de telefonia móvel, o que incentivou inclusive o desaquecimento dos ânimos das operadoras de Telefonia TDMA (principalmente a GSM) a migrarem suas redes para a 3G – WCDMA conforme o cronograma previsto, a fim de que se fosse encontrada, frente a WLAN, uma alternativa que oferecesse melhor capacidade em taxas de dados e com menor custo de implementação para a evolução das Redes Móveis Celulares.

Na FIG. 5.2 a seguir, são apresentados os elementos de uma rede WLAN básica com alguns detalhes de suas utilizações:

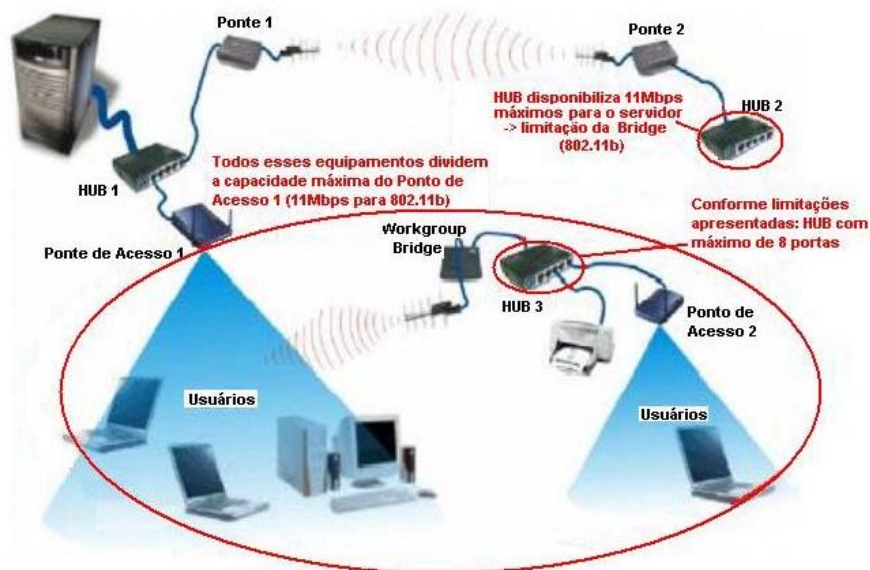


FIG. 5.2 Elementos básicos de uma WLAN

5.1. O COMEÇO DO WLAN NO MUNDO

Em 1985, com o objetivo de estimular a produção e o uso dos produtos para redes sem fio, o *Federal Communications Commission* - FCC modificou parte do espectro de frequências, criando faixas para que determinados equipamentos pudessem operar sem a obrigatoriedade de uma licença de uso, que normalmente é solicitada junto ao órgão regulador de cada país. Desta forma, somente seria necessário o produto ser homologado/certificado pelo fabricante com uma chancela deste órgão regulador, para que pudesse ser comercializado livremente pelo mercado, sob a responsabilidade e competência deste órgão regulador em sua área de gestão.

A partir destas alterações realizadas na legislação vigente, os equipamentos apareceram em lojas de produtos eletrônicos, com preços acessíveis. Os usuários puderam instalar rapidamente seus computadores e suas redes de computadores,

nas residências ou nos escritórios, evitando o emaranhado de fios espalhados por todos os lados.

As faixas não licenciadas apresentam atrativos quando se pensa em reduzir custos e tempo de implantação, mas como todos podem instalar os seus equipamentos em qualquer lugar e a qualquer momento, o perigo com interferências, passa a ser um dos grandes limitantes para a tecnologia, que acaba não garantindo tanta qualidade na prestação do serviço, podendo o mesmo gerar taxas de dados abaixo dos valores atingidos e sugeridos pelos fabricantes.

5.2. APLICAÇÕES NO MERCADO PRIVADO DAS WLANS

As redes sem fio podem funcionar em ambientes internos (escritórios, residências, lojas, etc) ou em ambientes externos (lugares abertos, como interligações de prédios, ruas movimentadas, etc) e apresentam aplicações tanto residenciais quanto corporativas, sendo encontradas principalmente na substituição de cabos em empresas, pequenos escritórios, ou na própria moradia de um usuário.

Nestes casos, todas as aplicações são de responsabilidade do usuário e não de uma operadora ou provedor de serviços de telecomunicações, portanto, problemas com falta de segurança, interferências e queda na taxa de transmissão de dados com o passar do tempo, deverão ser administradas pelo próprio usuário, que poderá achar uma faixa com menor intensidade de problemas ou desativar sua rede. (ZAWEL,2002).

A FIG. 5.3, apresenta um exemplo de rede corporativa com a utilização de WLAN. Notar que ocorre uma redução substancial na estrutura cabeada (física); Apenas são utilizados cabos metálicos para viabilizar o entroncamento das subredes dos andares. Todas as Estações de Trabalho estão conectadas em rede via técnica WLAN.

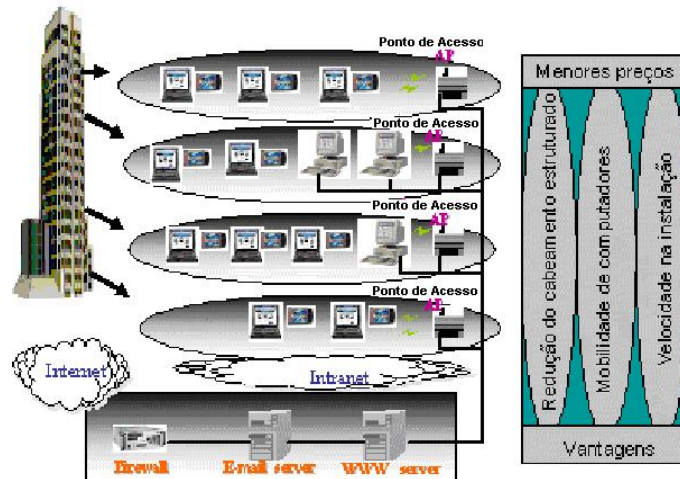


FIG. 5.3 Aplicação WLAN no mercado corporativo

A conectividade em ambientes externos, ligando prédios de uma empresa com até 10 Km de distância na faixa de 2.4 GHz, é utilizada para automatização de processos em fábricas, geralmente interligando galpões para controle e envio de informações ou conectando redes de computadores em prédios distintos. Vale ressaltar que nestes ambientes os sistemas ficam mais sujeitos a interferência e as condições adversas de propagação, reduzindo suas taxas de transmissão abaixo de 50% do valor apresentado por equipamentos operando em um ambiente interno.

Na FIG. 5.4, é apresentado um diagrama ilustrativo para o caso de aplicação WLAN sendo distribuída por várias filiais via técnica de acesso sem fio. Vale ressaltar que também pode ocorrer o entroncamento entre filiais da forma tradicional cabeada (linhas privadas, fibras ópticas, etc), utilizando acesso WLAN apenas no ambiente de interesse (escritórios, salas de aula, interior da fábrica, etc).

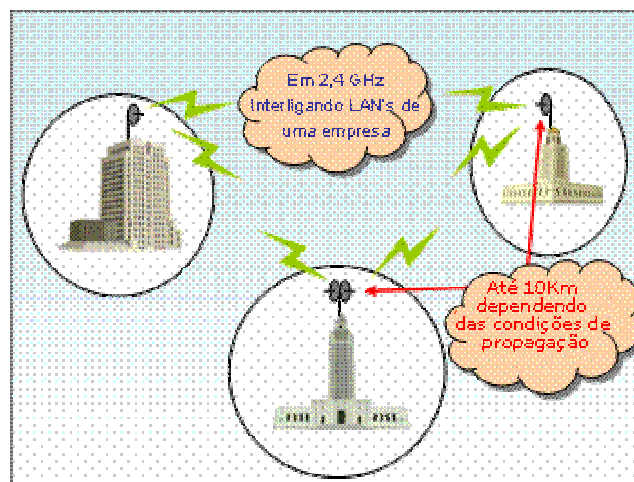


FIG. 5.4 WLANs com entroncamento sem fio entre filiais

5.3. APLICAÇÕES NO MERCADO PÚBLICO DAS WLANS (PWLAN)

Nos últimos anos, as redes WLANs oferecidas por operadoras ou provedores especializados aos usuários de laptops ou PDAs, em locais públicos, passaram a fazer parte do dia a dia dos executivos no mundo. Porém, observa-se uma diferença de preferências entre os países, relacionada aos locais para uso dos dispositivos, podendo este fato, alterar sensivelmente, a quantidade de pontos de acesso em cada país em médio e longo prazos.

A aplicação da WLAN em lugares públicos passou a ser conhecida como PWLAN e os pontos de acesso à Internet como *hotspots*, sendo essas aplicações observadas atualmente nas faixas de 2.4 GHz e 5GHz, possuindo como característica básica acesso a Internet em alta velocidade com pequenas áreas de coberturas, ou seja, raios menores que 120 metros, limitando a mobilidade dos usuários. (ZAWEL, 2002).

5.4. AS FAIXAS PARA WLAN OU PWLAN

As faixas destinadas para essas aplicações são conhecidas como *Industrial, Scientific, and Medical bands* - ISM e foram adotadas por diversos países, tendo sido a primeira em 900MHz (902 até 928MHz), a segunda em 2.4 GHz (2400 até 2483.5 MHz) e a última em 5 GHz. Atualmente o Brasil está atualizando a Resolução 305 da ANATEL, nas partes referentes a 2.4 e 5 GHz, disponibilizando a distribuição apresentada na FIG. 5.5:

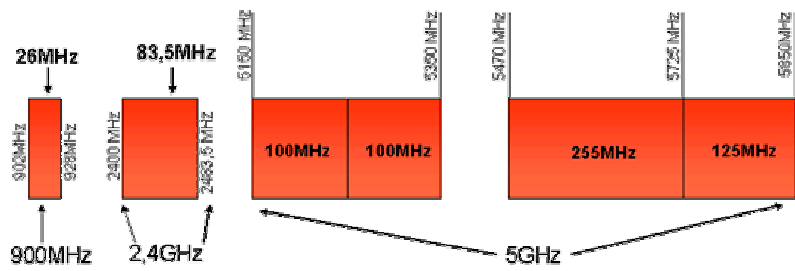


FIG. 5.5 Faixas de freqüências para WLAN no Brasil

5.5. WLAN EM 900MHZ

A faixa de 900 MHz apresentou um rápido desenvolvimento de produtos utilizando basicamente a tecnologia de Espalhamento Espectral com Salto em Frequência (*Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS*), que trabalha com saltos de frequência, espalhando a informação ao longo do tempo e alcançando taxas de dados até 2Mbit/s.

A FIG. 5.6, traz um esquema didático para ilustrar o funcionamento da técnica de espalhamento espectral por salto em frequência:

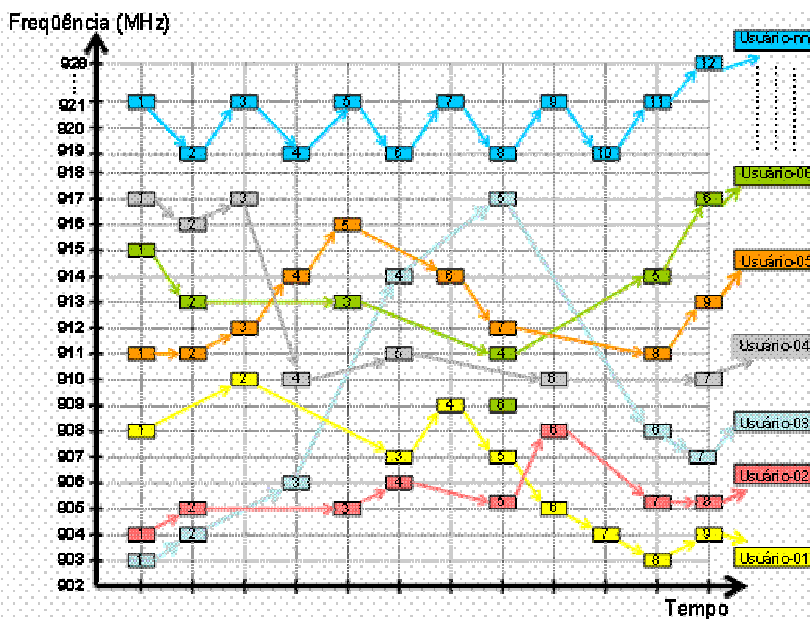


FIG. 5.6 Espalhamento Espectral por Salto em Frequência

A faixa utilizada em 900MHz possuía dois limitantes graves para a expansão das redes sem fio (WLANs). O primeiro era a largura de 26MHz, que limitava o número de usuários e suas taxas de transmissão. O segundo estava relacionado com a quantidade de outros serviços utilizando a mesma faixa, ou seja, além da interferência dos usuários da própria WLAN em 900MHz, várias outras fontes de interferência acabavam dificultando a operação dos computadores em rede com tecnologia sem fio, tornando a qualidade do serviço impraticável.

Entre as fontes de interferência, pode-se rapidamente citar: rádios ponto-a-ponto no serviço fixo, telefones sem fio, rádios por espalhamento espectral em configuração ponto-a-ponto e ponto-multiponto, radioamador, equipamentos de telemedição, emissor-sensor de variação de campo eletromagnético, sistemas móveis celulares, fornos velhos de microondas, fornos industriais de 50kW até 100kW, etc.

5.6. WLAN /PWLAN EM 2.4GHZ

Com os limitantes apresentados na faixa de 900MHz, a demora na utilização de uma outra faixa poderia implicar no fracasso comercial destes poderosos sistemas.

Dessa forma, o IEEE desenvolveu um padrão conhecido como 802.11b, baseado no modelo *Open Systems Interconnection* - OSI e operando na faixa de 2.4GHz, inserindo no lugar da técnica de Espalhamento Espectral por Salto em Freqüência (FHSS), que aumentou a eficiência espectral elevando as taxas de dados até 11Mbit/s, mas com valores médios reais de 4Mbit/s até 6Mbit/s na transmissão das informações dos usuários em ambientes internos e taxas menores que 4Mbit/s para ambientes externos.

Os equipamentos 802.11b, também são conhecidos como Wi-Fi, marca promovida pela *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* - WECA, organização sem fins lucrativos, criada em 1999, em Santa Clara, nos EUA. Sua missão é certificar a interoperabilidade de tais produtos e promover o Wi-Fi como padrão para implementação de redes locais sem fio em todos os segmentos. Representam mais de 70% do mercado e deverão permanecer por um bom tempo nos computadores de milhares de usuários.

Outro padrão começa a aparecer no cenário de 2.4GHz, apresentando uma evolução na transmissão de dados, o IEEE 802.11g, que alcança uma taxa de 54Mbit/s, trabalha com OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) distribuindo a informação sobre um grande número de portadoras espaçadas de tal forma que acabam fornecendo uma característica de ortogonalidade. Suas principais vantagens estão relacionadas com o aumento da eficiência espectral, minimização das interferências e baixa distorção por multi-percurso. (NEE & PRASED, 2000).

Os equipamentos IEEE 802.11g possuem compatibilidade com os IEEE 802.11b, fornecendo facilidades para executar uma ampliação e atualização em uma rede já em operação, pois computadores com o novo padrão podem ser adicionados à rede sem a necessidade de troca das placas dos demais computadores operantes, sendo possível operar Estações de Trabalho em 11Mbps e outros em 54Mbps dentro da mesma rede.

A FIG. 5.7 ilustra de forma didática as especificações dos padrões IEEE 802.11b (Wi-Fi) e IEEE 802.11g, referenciando ainda, suas possíveis fontes de interferências:

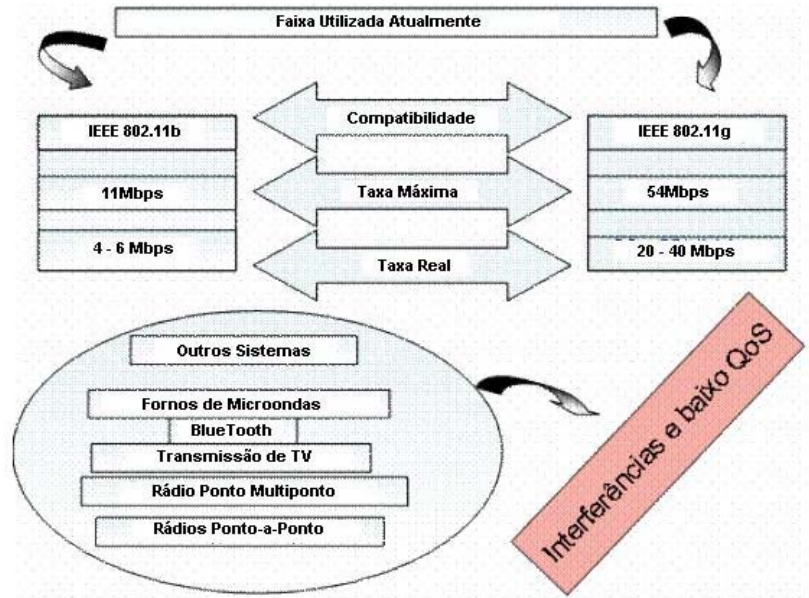


FIG. 5.7 Padrões em 2.4GHz

A faixa de 2400 até 2483.5GHz, não é totalmente aceita por alguns países, gerando limitações no uso mundial dos equipamentos. Entre os casos que se destacam, pode-se citar a França e a Inglaterra, onde no primeiro país, a regulamentação visa praticamente a liberação do uso do *Bluetooth* (ver seção 5.10) que opera na mesma faixa e com potências mais baixas, sendo o uso do PWLAN em qualquer ambiente, ou do WLAN em ambientes externos permitidos somente com a autorização do Ministério da Defesa.

Na Inglaterra a restrição passa a ser em relação aos sistemas PWLANs, pois equipamentos comprados para uso privado, residencial ou escritórios, não necessitam de licenças e equipamentos comprados para oferecer serviços públicos são obrigados a possuir licenças para entrar em operação.

Abaixo, a TAB. 5.2 ilustra a divisão e reserva do espectro de freqüências para uso de redes sem fio nos principais mercados do mundo.

Território	Freqüência (GHz)	Banda (MHz)
Espanha	2445 - 2475	30
França	2446,5 - 2483,5	37
Resto da Europa	2400 - 2483,5	83,5
Japão	2471 - 2497	26
EUA	2400 - 2483,5	83,5
Canadá	2400 - 2483,5	83,5
Brasil	2400 - 2483,5	83,5

TAB. 5.2 Faixa de 2,4 GHz no Mundo

5.7. WLAN /PWLAN EM 5GHZ

O futuro do WLAN /PWLAN está na evolução dos equipamentos para a faixa de 5GHz que apresenta uma maior banda, com melhores condições para transmissão e taxas que podem variar de 20Mbit/s até 54Mbit/s, em conjunto com um maior número de usuários, além de minimizar os problemas relacionados com interferências e qualidade de serviço (QoS) apresentados nas faixas de 900MHz e 2.4GHz.

Nessa nova faixa, pode-se observar um sinal que possui baixa capacidade de ultrapassar obstáculos, além de uma rápida atenuação com a distância da fonte transmissora, facilitando a reutilização da mesma frequência por vários usuários em distâncias que ultrapassem 30 metros, ou por usuários em salas diferentes separados apenas por paredes em um mesmo andar.

O maior problema em 5GHz começa a ser a divisão do mercado criada pela adoção de diferentes padrões e faixas de operação em regiões como as Américas, a Europa e o Japão. No IEEE temos o desenvolvimento do padrão 802.11a com taxas até 54Mbit/s. Na Europa, o *European Telecommunications Standards Institute* - ETSI participa do desenvolvimento dos padrões Hiperlan1, com taxas até 20Mbit/s, e o Hiperlan2, com taxas até 54Mbit/s. No Japão temos o desenvolvimento do HisWAN. Para efeitos de esclarecimento, nesta dissertação sempre serão tomados como base as especificações do IEEE.

Um ponto de grande importância para o futuro dessa tecnologia na faixa de 5GHz ocorreu na *World Radiocommunication Conference of 2003* - WRC2003, onde todos buscaram uma harmonização global das frequências, levando em consideração os sistemas de satélites e radares que também operam nesta faixa. Nesse caso, foi decidido que os três blocos usados pela Europa vão ser considerados como padrão mundial, sendo a faixa de 5150 até 5350MHz definida apenas para uso em ambientes internos e a faixa de 5470 até 5725MHz será usada para aplicações em ambientes mistos (internos e/ou externos). O Brasil está

seguinto essa definição do WRC2003 e deverá fixar as faixas de 5GHz seguindo o modelo da UIT apresentado anteriormente.

5.8. RESUMO DOS PADRÕES PARA WLAN

Na TAB. 5.3, são apresentados os principais padrões IEEE 802.11, ressaltando suas melhorias e peculiaridades mais importantes:

802.11b	11Mbps	2,4GHz	Maior mercado até 2003
802.11a	54Mbps	5GHz	Surgindo com grande potencial do OFDM
802.11g	54Mbps	2,4GHz	Compatibilidade com o 802.11b
802.11e	Qualidade de serviço em desenvolvimento		
802.11i	Melhoria na privacidade (WEP)		
802.11x	Implementação de criptografia e autenticação		
802.11d	Possibilidade de Cobertura Global		
802.11f	Cobertura/compatibilidade entre pontos de acesso de diferentes fabricantes permitindo handoff (podem ou não operar em conjunto)		
802.11h	Gerência de Espectro do 802.11a, Seleção dinâmica de canais		

TAB. 5.3 Padrões WLAN pelo IEEE

5.9. OS SISTEMAS WIRELESS E SUAS REAIS APLICAÇÕES

Atualmente a rede PWLAN atinge e atende a um nicho específico de mercado, sendo sua proposta de valor agregado relacionada com acesso à Internet

ou Intranet, com segurança e qualidade questionáveis, além de uma mobilidade restrita a área dos *hotspots*, podendo girar em torno de pouco mais de 30 metros para a faixa de 5GHz e 100 metros para a faixa de 2.4GHz. O grande atrativo do PWLAN é basicamente o preço baixo e a facilidade de implementação pela não obrigatoriedade do uso de licenças.

5.10. TECNOLOGIA PONTO-A-PONTO SEM FIO

A técnica conhecida como *Bluetooth* também apresenta seu nicho de mercado, funcionando com uma tecnologia similar ao WLAN/PWLAN e operando na mesma faixa de 2.4GHz. Visa conectar aparelhos para transmissão de grande quantidade de dados em distâncias menores que 10 metros, já utilizados em impressoras, mouses, telefones, fones de ouvido, etc.

A esta tecnologia chamamos de redes *Ad-hoc*, onde cada terminal está equipado com uma interface transceptora sem fio que permite a comunicação direta entre todos os equipamentos vizinhos sem necessariamente haver a relação hiererquizada com *hubs*, *switches* ou *APs* centralizadores de acesso, para viabilizar a comunicação com os demais terminais ou equipamentos. (FRODIGH, JOHANSSON & LARSSON, 2000).

Na FIG. 5.8, é ilustrada a forma de conexão Ad-hoc onde sempre estabelecem-se conexões do tipo ponto-a-ponto (Estação de trabalho à Estação de trabalho):

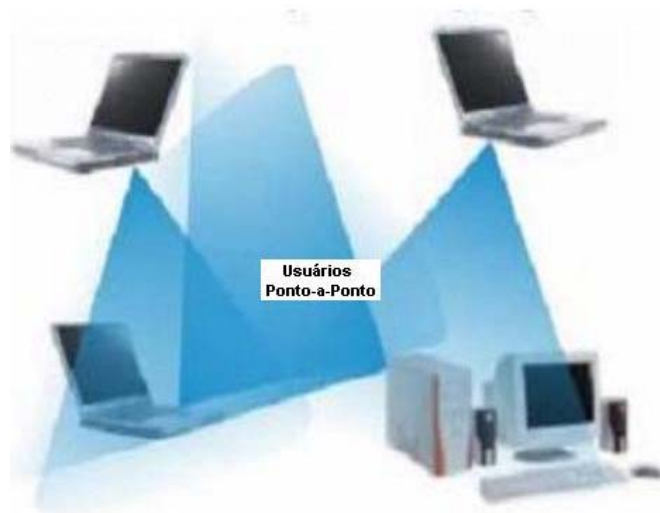


FIG. 5.8 Configuração Ponto-a-ponto

Note que nesta configuração, o sistema não necessita de Ponto de Acesso (AP) ou *Hubs* para que se estabeleça conexão entre as estações de trabalho.

5.11. ESTRUTURA DE WLAN UTILIZANDO PONTO DE ACESSO (AP)

Os Pontos de Acesso (APs) funcionam hierarquicamente como os Hubs ou Switches das LANs cabeadas tradicionais. Neste caso, por possuir a filosofia de hierarquia, as estações de trabalho, assim como todos os outros periféricos conectados à WLAN, realizarão a comunicação entre si de forma centralizada através do Ponto de Acesso (AP).

Na FIG. 5.9, é apresentado esquema de rede sem fio utilizando Ponto de Acesso (AP):

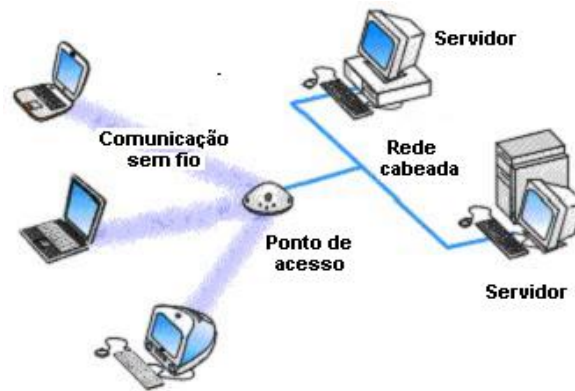


FIG. 5.9 Estrutura com Ponto de Acesso (AP)

Vale ressaltar que estes Pontos de Acesso (APs) devem possuir interfaces de entrada compatíveis com as interfaces de rede cabeada, a fim de tornar mais flexível a interoperabilidade do sistema. A FIG. 5.10 que traz exemplos de terminais APs:

- Características gerais nos equipamentos pesquisados:
- I/O para o *backbone* cabeado
 - I/O(s) de RF para antena(s) (alguns equipamentos têm antenas embutidas, outros permitem antenas externas)
 - Potência de saída regulável
 - WEP de 40 e 128 bits
- Características extras de alguns equipamentos:
- Diversidade de antenas
 - Funcionalidade *Repeater mode*



FIG. 5.10 Tipos de Terminais APs

Os Pontos de Acesso, na prática, podem ser *Hardwares* dedicados (*Hard AP*), como mostrado na FIG. 5.10 acima, ou *softwares* instalados em Estações de Trabalho (normalmente um PC) conforme ilustra a FIG. 5.11 abaixo:

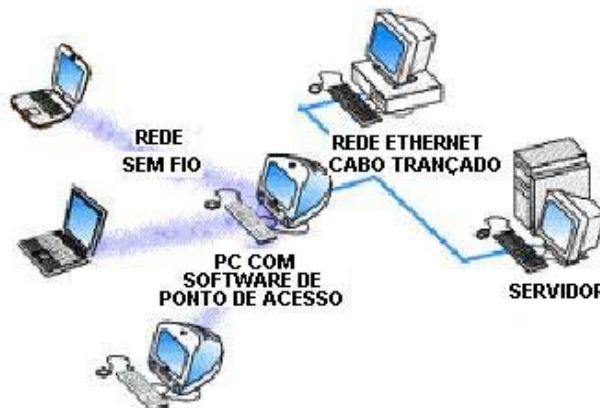


FIG. 5.11 Estação de Trabalho funcionando como AP

5.12. TIPOS DE CONFIGURAÇÕES

5.12.1. TOPOLOGIA UNICELULAR

É o tipo de estrutura de acesso, onde todos os terminais da área de cobertura se conectarão a apenas um Ponto de Acesso (AP). Veja a FIG. 5.12 que segue, para exemplificar o tipo de topologia unicelular.

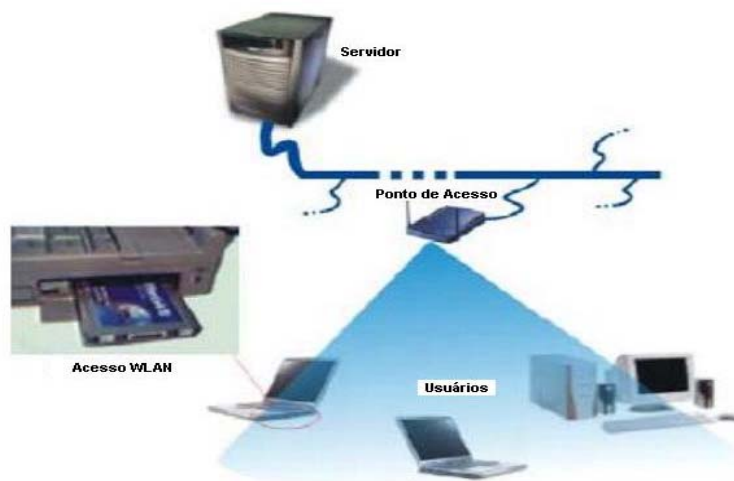


FIG. 5.12 Topologia Unicelular

5.12.2. TOPOLOGIA COM SUPERPOSIÇÃO CELULAR

É o caso em que os terminais de uma determinada área de cobertura são atendidos por mais de um Ponto de Acesso (APs), formando células vizinhas com pequena superposição de cobertura entre si. Neste caso não são utilizados conceitos de *handoffs* entre células, ou seja, um terminal pode transitar livremente dentro da área de cobertura da rede, através dos vários

APs de células vizinhas do sistema que, sem o terminal móvel perder a conexão com a rede em alta taxa, realiza uma troca de Ponto de Acesso servidor, quando ocorrem condições desfavoráveis de propagação com um determinado AP, em relação às condições de atendimento de um outro AP vizinho da mesma rede.

Ver a FIG. 5.13. abaixo para melhor entendimento do caso de superposição celular:

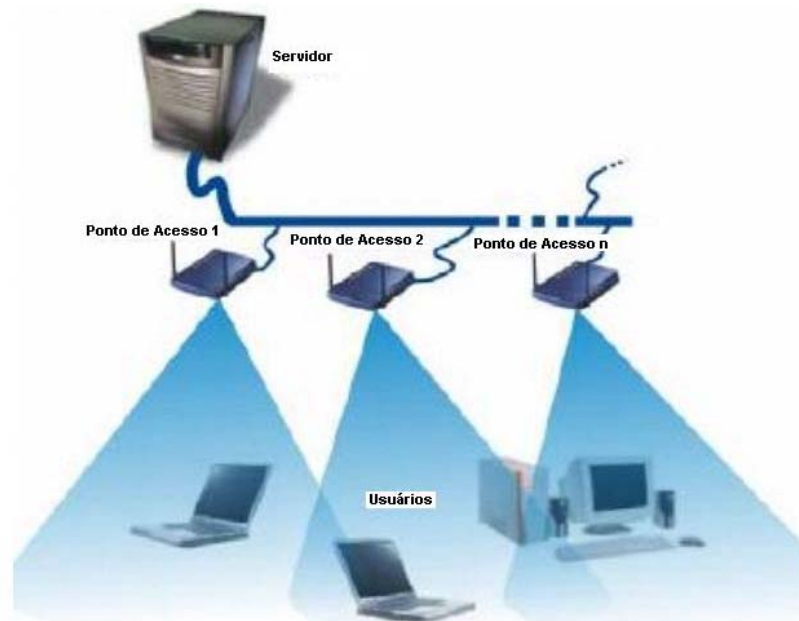


FIG. 5.13 Cobertura com superposição celular

5.12.3. TOPOLOGIA MULTICELULAR

É o caso específico onde existe um planejamento de frequências mais elaborado, utilizando conceitos de multiplexação na região de cobertura, pois deseja-se atender com bastante eficiência determinada área, aumentando a capacidade do sistema em termos do número de usuários ativos, além de prover certa garantia de determinada taxa mínima de dados por usuário desta região.

Vale ressaltar que estas garantias para serem mais favoráveis dependem também das condições de propagação que aleatoriamente variam

de acordo com a frequência no domínio do tempo, logo, quando se tem um ambiente com cobertura por multi-portadoras, pode-se garantir que haja maior imunidade quanto a desvanecimentos rápidos que podem ocorrer em determinadas faixas de frequências, pois as Estações de Trabalho serão atendidos por mais de um AP simultaneamente (diferentes portadoras RF) e seu detetor decidirá em função de qual dos APs o sinal está sendo recebido em melhores condições que garantam sua maior vazão de dados (princípio básico utilizado em um dos casos de *soft-handoff* encontrados na telefonia móvel). A ilustração deste conceito está mostrada na FIG. 5.14 abaixo:

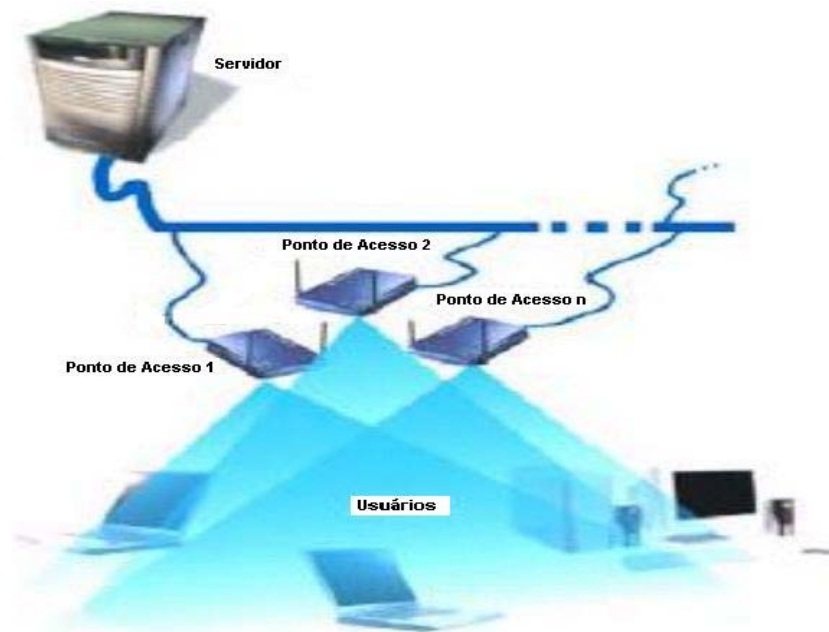


FIG. 5.14 Topologia Multicelular

5.12.4. TOPOLOGIA COM MÚLTIPLO SALTO (MULTI-HOP)

É o tipo de estrutura de rede, que utiliza em parte o mesmo conceito apresentado no *Bluetooth*. Consiste em uma configuração híbrida entre redes sem fio com Pontos de Acesso (APs) atendendo a determinada área de cobertura, com um *Workgroup Bridge (WB)* em uma diferente área, que não está atendida diretamente pela própria cobertura da WLAN em questão (AP1 da FIG. 5.15).

Este WB possui um transceptor rádio com feixe diretivo, que é propositalmente orientado a região de cobertura onde os terminais são atendidos pela rede WLAN (AP1 da FIG. 5.15), além de possuir interface física (conexão por fios) para se conectar a um outro Ponto de Acesso (AP2 da FIG. 5.15). Desta forma, o WB estabelece conexão ponto-a-ponto sem fio com alguma Estação de Trabalho atendida pelo AP1, e serve como ponte de acesso (daí o nome em inglês *Bridge*), com as estações de trabalho atendidas pelo novo AP2 em sua própria área de cobertura. Ou seja, funciona como uma extensão da cobertura de um determinado AP servidor, obtendo conectividade através da cobertura física deste AP1 por alguma Estação de Trabalho ou terminal de usuário atendido.

A FIG. 5.15 facilitará o melhor entendimento desse conceito, ilustrando a situação em questão:

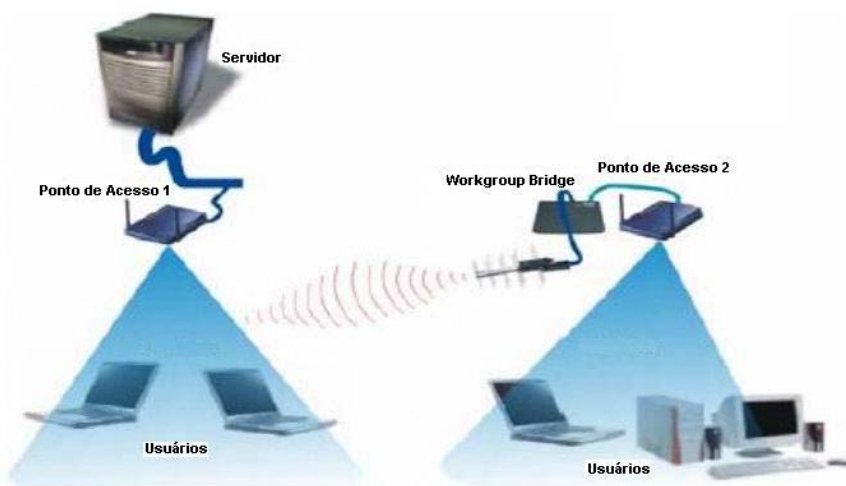


FIG. 5.15 Topologia Múltiplo Salto

5.13. INTERFERÊNCIAS INTERSISTÊMICAS

Conforme foi anteriormente mencionado, a faixa de espectro de 2,4GHz não possui necessidade de licença na ANATEL, para operar sistemas sem fio com baixa potência. Devido a isto, esta faixa tornou-se popular nos últimos anos, vindo a ser

utilizada por diversas tecnologias tais como o telefone sem fio, fornos de Microondas, portões eletrônicos, o *Bluetooth* (IEEE 802.15) e o *WI-FI* (IEEE 802.11).

Especificação geral do Bluetooth:

- ✓ Faixa de frequência de operação entre 2400MHz e 2485MHz;
- ✓ Potência de Operação varia entre 0 e 5 dBm;
- ✓ Duração do uso do transmissor depende do tamanho do pacote a ser transmitido.

Especificação geral de um forno de Microondas usual:

- ✓ Faixa de frequência de operação entre 2450MHz e 2458MHz;
- ✓ Potência Efetivamente Irradiada a aproximadamente 3 metros de seu transmissor é de 18dBm;
- ✓ Duração de pulsos de potência é de 10 micro-segundos.

Deve-se notar que no caso de coexistência próxima entre WLANs e *Bluetooth*, numa mesma região de operação, sempre ocorrerá elevada probabilidade de colisão/conflito de pacotes devido às diferentes técnicas de rede sem fio apresentadas, que utilizam técnicas de acesso ao meio muito similares.

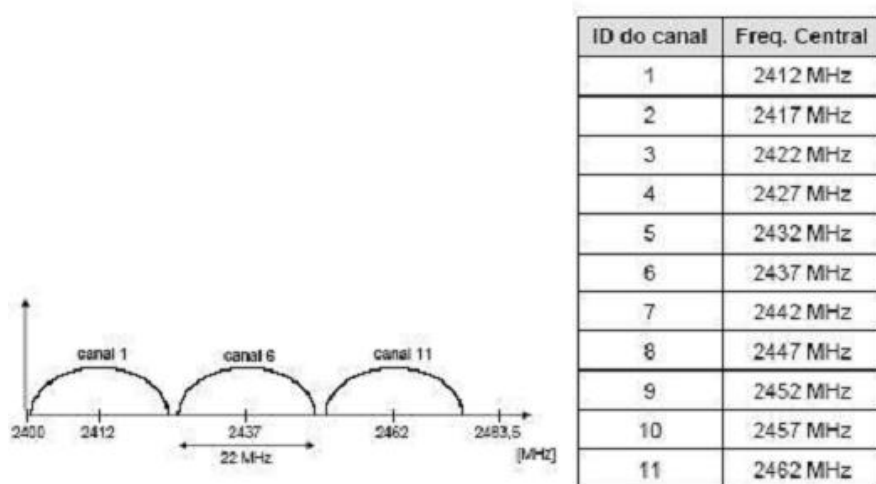
Nestes casos, deve-se realizar uma apurada investigação do espectrograma da região onde se deseja implementar o *Bluetooth* ou a WLAN, a fim de que se evite a operação simultânea concorrente entre os sistemas que ocupam a mesma faixa de espectro.

No caso de se ter necessidade de operação em conjunto, deve-se utilizar algum padrão de WLAN que ocupe faixa de frequência diferente da faixa de frequência de operação do *Bluetooth*. Chama-se este recurso de Planejamento de Frequência, pois visa evitar operação de diferentes (interferentes) sistemas que operem na mesma faixa.

5.14. TÉCNICAS DE REDUÇÃO DE INTERFERÊNCIA EM AMBIENTE WLAN

Existem três principais maneiras de se reduzir a interferência em ambientes Wireless. Dentre elas podemos citar o planejamento de freqüências, que é uma solução de redução de interferência Intra-sistêmica; o planejamento de cobertura e, por fim, o uso de técnicas de espalhamento espectral, que possuem certa imunidade a interferências, desde que exista uma eficiente gerência no controle de potência de transmissão das estações móveis ou terminais semi-móveis envolvidos.

Abaixo, uma TAB. 5.4 ilustrativa sobre o planejamento de freqüências utilizado no padrão 802.11 pelos Estados Unidos, Canadá e Brasil. A faixa de 2,4GHz é dividida em 11 canais de 22MHz que são superpostos.



TAB. 5.4 Planejamento de freqüências WLAN

Na FIG. 5.16 abaixo, um diagrama ilustrativo sobre a técnica utilizada para se obter eficiência na implementação do planejamento de cobertura em sistemas WLANs. Esta técnica consiste em subdividir a região de atendimento em células, para que seja possível realizar reuso das mesmas faixas de freqüências. Notar que o alcance de sinal de cada célula deve ser limitado ou reduzido, a fim de evitar interferências entre co-células em operação no mesmo sistema.

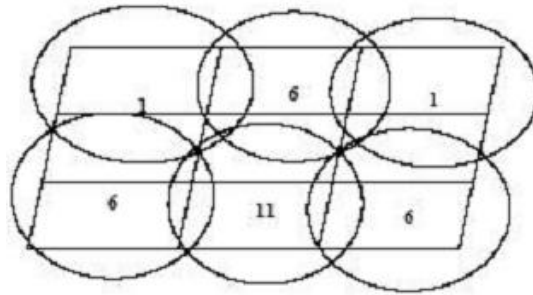


FIG. 5.16 Modelo de cobertura

5.15. ASPECTOS DE TRÁFEGO NAS WLANS

A vazão total de tráfego de dados, em uma determinada área, é dada pela soma algébrica da vazão de cada usuário ativo desta mesma área. Desta forma, a capacidade nominal de transporte de dados processados no Ponto de Acesso (AP) responsável por esta área, deve ser maior que este valor anteriormente estimado pela soma algébrica da vazão total de dados dos usuários da área de cobertura.

A TAB. 5.5 a seguir, mostra uma situação real de projeto, obtida no planejamento para implantação de uma WLAN em instituição de ensino superior:

Ambiente	Aplicação	Tráfego Médio	Número de Usuários simultâneos		
			11Mbps	5,5Mbps	2Mbps
Corporativo	Web, Email, Transferência de Arquivos	150 a 300 kbps por usuário	20 a 40	10 a 20	4 a 9
Acesso Público	Web, Email	100 kbps por usuário	60	30	12

TAB. 5.5 Exemplo de cálculo de capacidade de uma rede WLAN

Vale notar da tabela anterior que para a tecnologia WLAN, mesmo com um grande número de usuários caracterizando o tipo de acesso público, as taxas efetivas de dados praticadas são bastante incentivadoras. Lembrando que 60 usuários com taxa de 100kbps geram uma taxa de 6Mbps (taxa líquida) dentro do limite estipulado de 11Mbps (taxa máxima de dados bruta por célula).

5.16. COBERTURA WLAN

As WLANs já se tornaram uma realidade que deu certo no mundo. No Brasil, por exemplo, a exploração desse serviço sem fio é realizado por Provedores de Acesso a Internet (ISP) em parceria com empresários da rede hoteleira e gastronômica em geral, que já implementaram as redes sem fio em muitas localidades públicas, a fim de atender usuários com seus serviços inclusive nos momentos de lazer.

Dentre os mais variados *hotspots* pode-se citar, principalmente, que todos os aeroportos do Brasil possuem cobertura WLAN, assim como as grandes e principais redes de hotéis, restaurantes, bares e cafeterias. Já existe até um Hipermercado em São Paulo que oferece serviços de dados através das WLANs aos seus clientes enquanto realizam suas compras. Para maiores detalhes sobre a abrangência das redes sem fio no Brasil, visitar os sites dos principais provedores de acesso a internet do Brasil, tais como:

- <http://www.velox.com.br/veloxwifi>;
- <http://wifig.ig.com.br>;
- <http://www.speedywifi.com.br>;
- <http://informatica.terra.com.br/wifi>.

6. CONVERGÊNCIA ENTRE REDES MÓVEIS CELULARES E WLANs (REDES HÍBRIDAS)

Desde que as WLANs chegaram ao mercado brasileiro conquistando a simpatia dos usuários, tanto por sua praticidade quanto por sua flexibilidade, conforto e custo de implementação razoáveis, têm despertado grande interesse na sociedade científica. sendo objeto de relevantes discussões sobre sua utilização complementar com as atuais redes celulares. Isto se deve ao fato de as WLANs permitirem ofertar tráfego de dados a grande número de usuários com certa mobilidade e com taxas elevadas (inclusive maiores que as taxas previstas para a 3G), além de necessitar baixo custo de investimento se comparado aos custos de migração destas redes móveis para suas respectivas sucessoras de 3G. (LEHR & LEE, 2003), (ALVEN, ARJUNANPILLAI, FARHANG, KANSAL, KAN & LEUJVEN, 2001), (CARROS, 2001), (DORNAM, 2002), (HONKASALO, PEHKONEM, NIEMI & NOKIA, 2002).

Esta nova proposta, inicialmente, não prevê concorrência direta entre as tecnologias envolvidas (Celular e WLAN), uma vez que a WLAN vem sendo apresentada como um serviço complementar para comutação de pacotes em altas taxas, que será disponibilizado em determinados pontos estratégicos das redes celulares. Os pontos em questão se localizam onde haja grande demanda de usuários das redes móveis, com necessidade de obter conectividade à rede de dados, em ambientes tradicionalmente celulares ou não, para acesso à caixa de correio eletrônico, à conta bancária, além de serviços de tele-conferência, fazendo-se o usuário presente, mesmo que virtualmente, em reuniões, por exemplo. Uma constante preocupação, por parte das operadoras de serviços móveis, é bem servir tais usuários mais específicos, sem, com isso, prejudicar a capacidade de tráfego dos serviços de voz, que ainda correspondem, em maior escala, como a principal fonte de seus recursos.

Todos estes detalhes, quando tratados sob a forma de uma mesma equação, em que a solução deve ser sempre a menos custosa possível, induz a condução do assunto de forma complementar, intentando acomodar sempre a maior capacidade

de tráfego de dados com referência em quesitos de QoS sem, com isso, perder a atual capacidade e qualidade já atingidas pelas redes móveis, nos serviços de voz disponíveis. Certamente que, com o aparecimento das WLANs, a solução desta equação tornou-se mais tangível frente a seu inquestionável potencial de desenvolvimento. Um tratamento muito apresentado hoje no mercado, gera uma expectativa de solução complementar, do tipo conveniência do usuário. Ao se combinar a tecnologia WLAN com as redes móveis, será possível disponibilizar aos usuários móveis, capacidade de acesso, em determinadas regiões, com maiores taxas de dados, sem comprometer o planejamento existente da capacidade de tráfego de voz da rede. Todo este cenário torna-se possível, devido ao uso de diferentes planos de frequências, utilizados pelas WLANs e redes móveis, que podem ser superpostos, quando bem planejados, permitindo a operação em dual mode (capacidade de operar em duas funções diferentes).

Desta forma, os serviços de dados das atuais redes móveis celulares de segunda geração, nunca estariam aquém das qualidades e expectativas dos serviços de dados similares já encontrados no portfólio de serviços das operadoras que utilizam tecnologia celular de 3G. Obviamente que esta proposta de rede híbrida (Redes Móveis+WLAN) não estaria, em princípio, atendendo toda a cobertura original de uma determinada rede móvel existente. Este planejamento ocorreria de forma gradativa, até mesmo como experiência de aceitação deste projeto piloto, visando a atender determinados pontos estratégicos, onde ocorram grandes demandas por tráfego de dados, através das redes móveis celulares como, por exemplo, em prédios comerciais, teleportos, shopping-centers, restaurantes, aeroportos, rodoviárias, vias de muita circulação de pessoas em grandes centros, etc.

Em todas as outras circunstâncias de uso de serviços de dados, ou até mesmo quando uma Estação Móvel (EM) estiver em movimento e passar de uma área de cobertura Rede Móvel+WLAN a uma área sem cobertura WLAN (apenas com cobertura pela rede móvel), este usuário seria automaticamente atendido pelo suporte a serviços de rede da própria tecnologia celular operante sem perder sua conectividade. No máximo, seria prejudicada sua qualidade de serviço (QoS) em termos de vazão de bits, o que é bastante satisfatório e aceitável frente ao conforto e a facilidade de se ter perdido proporcionalmente banda por mobilidade. Vale

relembrar, que os objetivos finais da implementação da 3G são oferecer 144kbps (taxa normalmente atingida com sistemas celulares de 2G) a usuários com alta mobilidade, 384Kbps (taxa facilmente superada apenas com a cobertura de WLAN para o caso de ser usuário pedestre em determinada região estratégica) a usuários pedestres e finalmente taxa de 2Mbps para usuários parados em ambiente interno (tarefa bastante fácil, inclusive de ser superada, para área estrategicamente atendida com a cobertura WLAN).

Devido a legados históricos, sabe-se que os rumos de uma tecnologia, bem como a decisão de sua existência e permanência prática ou não, dependem de inúmeros fatores e que, dentre eles, destaca-se principalmente a relação custo-benefício. É a partir desta relação que se torna viável transformar uma inovação tecnológica em realidade de mercado. De nada adiantaria resolver uma limitação tecnológica, se não houver maneira de compensar os altos custos associados ao investimento necessário para o atingimento de tal finalidade. Ainda hoje, a relação custo-benefício é o principal motivo pelo qual os fabricantes e operadores de redes móveis celulares brasileiras hesitam em realizar a migração imediata de suas redes de 2G para suas sucessoras de 3G. Não há projeção, garantia, nem expectativa no mercado nacional sobre um retorno seguro e sustentável, quando comparado ao tamanho do investimento necessário.

6.1. CATEGORIAS DE SERVIÇOS PARA AS REDES CELULARES E WLANS

As redes móveis celulares possuem uma proposta de valor agregado mais abrangente que os sistemas WLAN, pois além dos serviços de acesso à Internet e Intranet, com uma área de cobertura de proporções bem maiores e com garantias de segurança e qualidade de serviço (QoS), também oferecem serviços diferenciados relacionados aos terminais móveis e sua mobilidade. Isto é mostrado na FIG. 6.1, onde se observa que há uma relação de complementariedade específica quando

analisadas as finalidades dos serviços oferecidos em separado. É bastante nítida e natural a proposta de convergência das tecnologias.

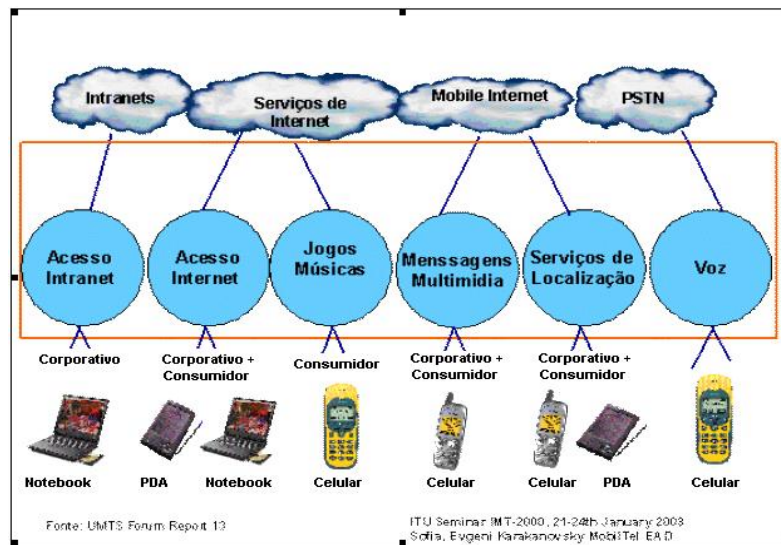


FIG. 6.1 Previsão tecnológica das redes móveis

As Operadoras de redes móveis no Brasil, visando uma atuação mais forte junto aos usuários corporativos, pensam em combinar seus sistemas móveis celulares com WLANs, uma vez que é possível equipar laptops com ambas as interfaces aéreas, sendo muito comum encontrarmos no mercado placas que operam com WLAN e GPRS/EDGE, por exemplo. Essa solução atualmente ainda não integra os dois sistemas transparentemente, mas possibilita que o usuário, no primeiro momento, possa escolher o tipo da rede e a velocidade que pretende trabalhar, ou seja, a interface transceptora é selecionável de acordo com o sistema rádio de interesse do usuário.

Fica bastante claro, que o próximo passo será a universalização do acesso rádio, permitindo que seja uma decisão mista entre software/hardware sobre a escolha por uma rede ou outra. Esta decisão pode ser baseada, inclusive, na melhor escolha. Por exemplo, sabe-se que as taxas atingidas em ambientes WLANs são muito mais altas que em ambientes GPRS/EDGE, então o terminal, ao solicitar conexão, poderia tentar ingressar no sistema pelo modo WLAN e caso não conseguisse o requerido acesso, o próprio terminal, automaticamente, se conectaria a rede GPRS ou EDGE. Outra possibilidade seria também, este chaveamento ocorrer automaticamente, na escolha da técnica de acesso, baseado no controle da taxa de erro avaliada na saída de seu receptor.

Desta forma, o usuário de WLAN poderá obter roaming alternativo (Via GPRS, por exemplo) entre hotspots, sem perder em qualquer momento sua conexão com o sistema da rede de dados, de forma a manter sua conexão ativa e funcional. Dentre as vantagens agregadas, pode-se citar, principalmente, a facilidade de o usuário ser cobrado diferenciadamente em uma única conta, integrando os serviços celulares e WLAN. Conforme já abordado no texto, estima-se que, no futuro próximo, um handoff entre redes híbridas ocorrerá de forma transparente e automática para o usuário (decisão do próprio sistema - transparente ao usuário), ou seja, sem ocorrer a perda de conexão com a Internet ou com a Intranet, quando o laptop estiver em movimento saindo da cobertura fornecida por um hotspot (Ponto de Acesso) e entrando na cobertura da rede móvel, por exemplo.

6.2. ANÁLISE ENTRE COBERTURA E CAPACIDADE

As redes sem fio podem ser analisadas por suas áreas de cobertura e capacidades de tráfego. Na FIG. 6.2, a seguir, vê-se de forma clara as reais diferenças e prováveis aplicações de cada rede. Nota-se que as aplicações atuais em WLANs ainda estão dominantes em ambientes internos, tendo em vista o pequeno raio de cobertura frente às altas taxas de dados oferecidas. Já as redes móveis celulares, encontram-se com uma excelente abrangência, em termos de cobertura, entretanto, com baixa capacidade para tráfego de dados.

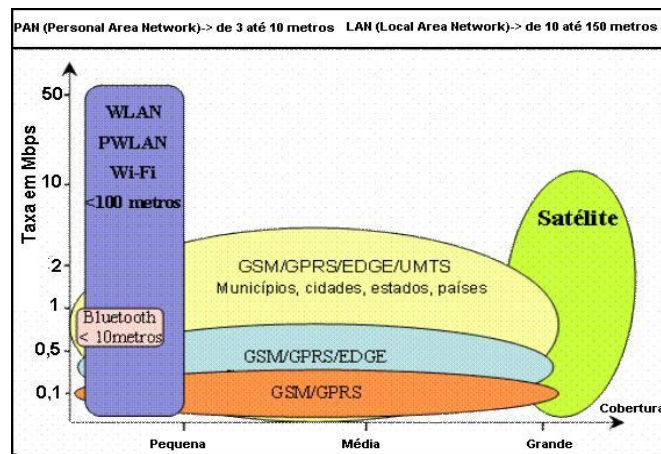


FIG. 6.2 Cobertura x Capacidade em ambiente sem fio

É importante frisar que o grande limitante do alcance das atuais redes WLANs são questões regulamentares (políticas), devido a estas estarem ocupando a faixa de exploração liberada. Existem padrões WLANs que oferecem serviços com grande capacidade e cobertura. Quando esta realidade se tornar fato no mercado, a sociedade começará a pensar em competição entre WLANs e Redes Celulares e não mais complementariedade, como se pensa hoje. O mundo WLAN, para realmente atingir um nível industrial adequado, vem avançando ainda em questões como segurança, qualidade de serviço (QoS), uso de frequências apropriadas e interoperabilidade com redes móveis celulares. Justamente o desfecho sobre o desenvolvimento do quesito interoperabilidade é o que poderá minimizar as críticas de mercado à tecnologia apresentada, para que assim se possa avançar mais expressiva e concretamente no mercado nacional corporativo. Uma das grandes vantagens que está sendo levantada pelas operadoras é o fato de se poder realizar os serviços de tarifação integrada entre os dois sistemas, ou seja, uma única conta com a discriminação dos serviços utilizados e efetivamente cobrados.

Os serviços concentrados em acesso à Internet e Intranet, com grandes taxas de transmissão, complementam as tecnologias celulares que apresentam uma série de outros serviços relacionados ao celular e à mobilidade ampla de uma rede móvel. Rede essa que, no final, poderá ser a melhor opção para minimizar a mobilidade restrita das WLANs, as quais ainda apresentam dúvidas quanto a um modelo prático de negócio rentável. Em contrapartida, a utilização das WLANs em redes móveis podem superar de forma eficiente as limitações de tráfego de dados no acesso rádio das redes móveis atuais. Por outro lado, uma rede WLAN sendo explorada por uma

operadora de telecomunicações apresenta uma certa preocupação político-econômica por parte dos órgãos reguladores em várias partes do mundo, principalmente sobre a qualidade de serviço (QoS) entregue aos usuários, gerando, em alguns países, uma vontade maior de exigir licenças para instalação de tais equipamentos. Em outras palavras, em aplicações públicas, as idéias de facilidade de instalação e rápido aumento do número de hotspots poderão, em determinadas localidades, não serem mais verdadeiras.

6.3. PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO

Como ilustração prática, propõe-se uma situação que torne possível integrar todos os tipos de serviços de telefonia e dados. Esta situação é ilustrada na FIG. 6.3 onde se observa a convergência de serviços englobando telefonia móvel, telefonia fixa e serviços de dados em faixa larga residencial ou corporativa, os quais podem ser tratados em sua última milha (ambiente do usuário) via tecnologia sem fio, com o uso das WLANs. Esta configuração pode servir de base para análises de casos em residências, escritórios, empresas, fábricas, clubes, etc.



FIG. 6.3 Previsão sobre integração WLAN com redes móveis e fixa

Nota-se na FIG. 6.3 a potencial magnitude de se utilizar a tecnologia WLAN em conjunto com as redes móveis e fixas. Nesta proposta, a Estação Móvel (EM) está sendo servida, dentro da área de cobertura WLAN (hotspot), pelo Ponto de Acesso (AP), realizando e recebendo chamadas celulares e fixas via sistema de comutação RTPC. Além disso, seja através de celular, PC, laptop, PDA, etc., toda a região do ponto de acesso (AP) está conectada ao backbone de dados, através de uma conexão do tipo DSL, que permite através da rede externa (de par metálicos), realizar tráfego multimídia com conexão em faixa larga. A Estação Móvel (EM) ao sair do domínio de alcance da micro-célula da WLAN em questão automaticamente voltará a ser servida pela tradicional estrutura da rede Móvel celular.

Deve ser destacado que o simples fato de se combinar redes móveis celulares com redes WLAN, possibilita o aumento da capacidade de tráfego de voz das redes celulares. Isto porque, os usuários de dados da rede poderão ter o serviço atendidos via WLAN, descongestionando com isso, a ERB que estará liberada para atender outros usuários na região. Basta apenas, um raciocínio análogo para se determinar o mesmo tipo de aplicação no âmbito corporativo, que atualmente possui capacidade de tráfego em média com N feixes de 2Mbps no entroncamento de sua central de PABX interna com a rede pública via fibra óptica ou cabos metálicos. Observar que ambas as redes, tanto a fixa quanto a móvel, convergem para uma única nuvem de backbone, facilitando a viabilidade de projeto e unificando as funções de tarifação, gerenciamento de rede, etc. A FIG. 6.4 a seguir ilustra esta filosofia.

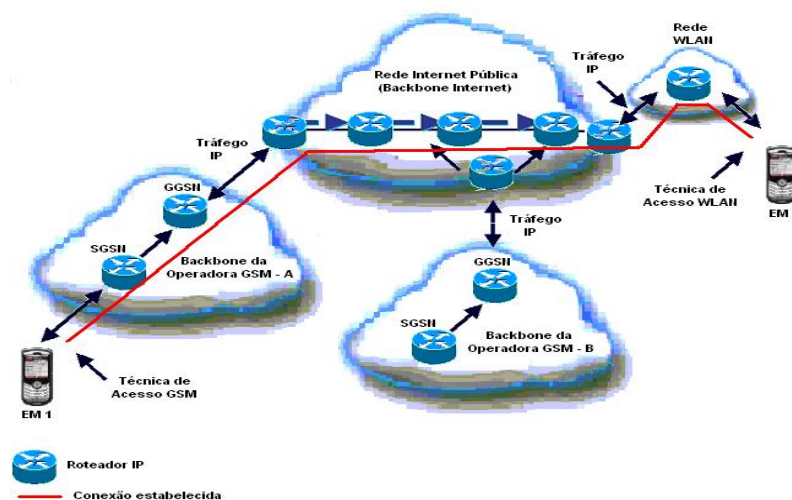


FIG. 6.4 Exemplificação dos diferentes Backbones em convergência

6.4. PROPOSTAS DE HANDOFF PARA A CONVERGÊNCIA

Atualmente os fabricantes e o meio científico, principalmente o IEEE através do grupo 802.21, estão trabalhando no desenvolvimento e aprimoramento tecnológico voltado para a convergência entre os diferentes sistemas sem fio (JOHNSTON, 2004), (WILLIAMS, 2004). Vale ressaltar que estes grupos ainda não definiram de forma concretizada sobre a normatização de *handoffs* entre sistemas. Entretanto, há uma sinergia unânime entre os colaboradores, sobre os aspectos gerais de funcionamento deste tipo de *handoff*. A fim de compatibilizar as redes, adequando aos diferentes perfís e classes dos usuários, tais fabricantes estão tratando aspectos de *handoff* entre os sistemas de através de duas hipóteses:

a) O controle sobre a utilização da rede é feito de maneira simples, pela conveniência do usuário, ou seja, o assinante é quem deve selecionar em qual rede se conectar e quando, desde que haja condições de acesso na região, objeto de seu interesse. Nesta situação, a EM informa em qualquer dos casos (rede celular e WLAN) sobre a condição, qualidade e possibilidade dos acessos sem fio disponíveis para a região de interesse, para que o usuário selecione a melhor conexão, dentro de suas expectativas;

b) O controle sobre a decisão entre conectar-se a um sistema ou a outro ocorre de forma automatizada, por decisão da própria EM através de seus mecanismos de análise de níveis de Eb/No dos sinais de cada sistema (celular e/ou WLAN).

6.4.1. ANÁLISE DA CONVERGÊNCIA POR PARTE DAS EMS

O primeiro caso é mais simples e, conseqüentemente, apresenta menor custo, tanto para a comercialização da EM, como para a complexidade do ponto de acesso. Entretanto, corresponde a uma estrutura rígida, onde não há *handoff* automatizado entre as redes. A única particularidade relativa à condição de rede

híbrida é o emprego de terminais duais (celular / WLAN). É claro que o *handoff* pode ser implementado. Porém, implicaria automatização de parte do processo, maior poder de processamento e decisão na rede por parte das EM, sendo mais lógico englobar também a operação de conexão à rede, recaindo na hipótese discutida a seguir.

No segundo caso, a conexão é transparente para o usuário. A EM tenta inicialmente se conectar à rede de acesso WLAN para provimento de serviço de dados, através da avaliação de parâmetros QoS em seu sistema interno de recepção do sinal (análise da relação Eb/No). Sendo possível o estabelecimento de conexão via WLAN, o processamento de rotinas em camada 2 irá desabilitar a recepção de dados via rede celular da EM, enquanto esta permanecer em cobertura WLAN. Entretanto, isto não impede que a rede celular continue trocando informações sobre controle e comandos com a EM (inclusive informações sobre qual tipo de serviço está sendo utilizado pelo usuário, até mesmo para fins de tarifação).

Não sendo possível o estabelecimento de conexão via WLAN através da análise de parâmetros de QoS, automaticamente o sistema irá selecionar a recepção de dados pela rede de serviços celular disponível. Notar que este artifício serve de base para viabilizar a proposta de convergência, automatizando o processo de seleção do sistema a ser utilizado. Para tanto, tendo em vista que terão papel principal na escolha do serviço mais adequado, as EMs devem possuir maior capacidade de processamento, inteligência e decisão dentro das redes móveis celulares. Esta proposta, denominada pelo IEEE de *MIH (Midia Independent Handoff/Handover)*, em muito se assemelha ao conceito de *handoff* inserido há tempos no sistemas celulares digitais, e que permanece atual até os dias de hoje. Trata-se da técnica *MAHO (Mobile Assisted Handoff)* apresentada no capítulo sobre a segunda geração, onde a EM passava a exercer papel principal e essencial nas decisões de *handoffs* na rede. Na proposta de convergência com a implementação do *MIH*, a EM também exercerá um papel fundamental, partindo dela a decisão de onde, como, quando e em que tipo de acesso sem fio conectar-se. A rede celular continuará oferecendo um serviço básico e necessário, uma vez que servirá de referência, principalmente no gerenciamento dos acessos, para as EM operantes em redes híbridas.

Com a finalidade de facilitar a visualização do processo acima descrito, esta dissertação propõe o fluxograma da FIG. 6.5. Nesta figura estão traçados os caminhos que o sinal deverá percorrer na EM para atender as condições de compatibilidade e operabilidade entre as duas redes. Logo a seguir, é detalhada a função exercida por cada etapa do fluxograma.

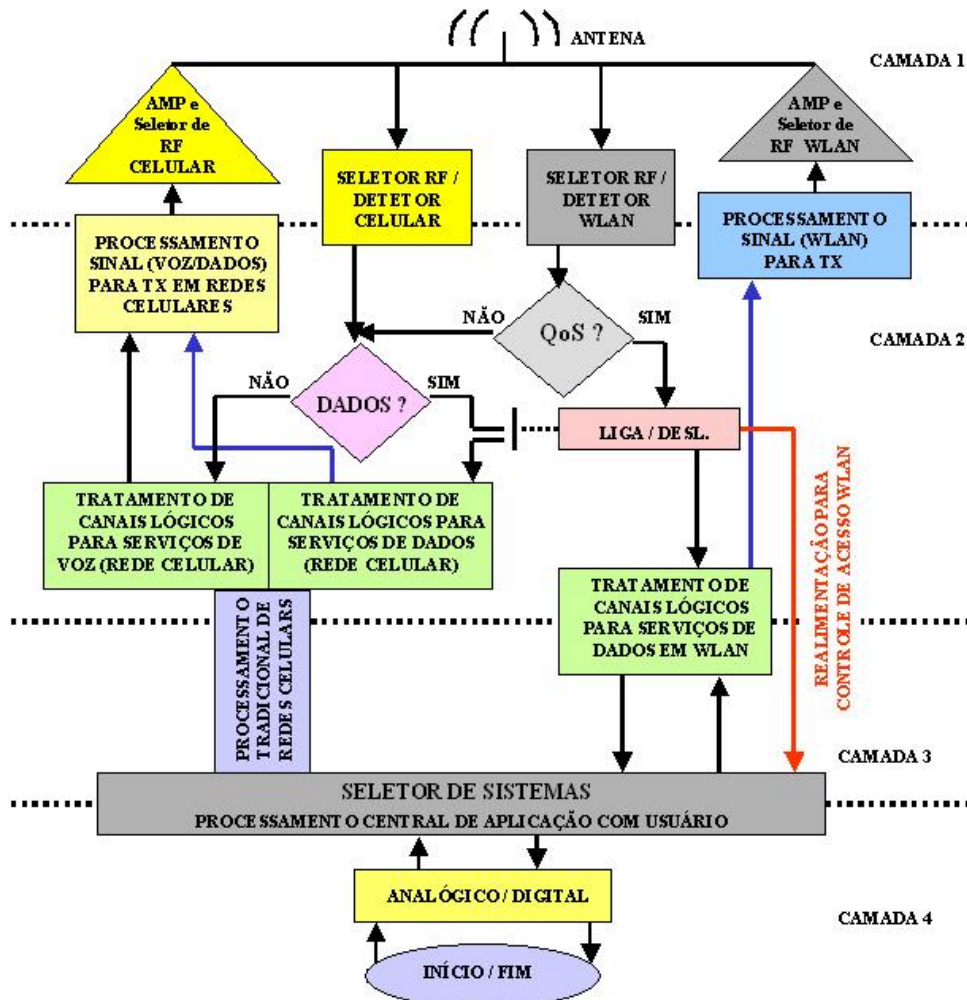


FIG. 6.5 Fluxograma de processos de estabelecimento de conexão e Handoff

- **Seletor RF / Detetor WLAN:** sistema complexo de recepção, atuante nas camadas 1 e 2, que desempenha funções de controle de recursos rádio, seleção de frequência de operação, filtragem seletiva, tipo de modulação, handoff intrasistêmico baseado em instruções advindas da rede provedora de acesso WLAN (entre pontos de acesso do mesmo sistema);

- **Decisor baseado em Eb/No (QoS):** sistema avaliador de nível de Eb/No do sinal recebido via sistema WLAN que efetivamente decide sobre a escolha de que tipo de sistema será utilizado para o download de dados. É elemento essencial nas rotinas de handoff intersistemas (WLAN e Celular) . É o elemento fundamental para facilitar processos de MIH, quando a EM estiver trafegando informações multimídia que necessitem dispor de parâmetros QoS. Caso a EM esteja em cobertura WLAN, automaticamente, o tráfego de dados se dará através da estrutura WLAN, pois o próprio decisor desabilitará o sistema de recepção de dados multimídia via sistema celular. Notar que este processo não impede que a rede celular continue realizando troca de informações de controle e gerenciamento com a EM através do sistema celular, pois apenas a recepção de dados multimídia foi desabilitada para que seja utilizado este recurso via WLAN;
- **Tratamento de canais lógicos para serviços de dados em WLAN:** este processo de camadas 2 e 3 envolve a conversão de canais lógicos em físicos e vice-versa, assim como a definição sobre o tipo de dados multimídia (nível de prioridade). Adicionalmente, efetua correção de erros na recepção e introduz entrelaçamento de bits, repetição e perfuração de dados, codificação de canal, etc na transmissão (ver equivalente na seqüência de processamento da rede celular);
- **Realimentação para controle de acesso WLAN:** o fluxo de realimentação significa apenas mandar informação discretizada, ao **seletor de sistemas**, do tipo ZERO – quando não há QoS para atendimento via WLAN, ou UM – quando há QoS para atendimento via WLAN. Esta malha de realimentação é utilizada para nortear o **processamento central de aplicação com o usuário**, na camada 3 e 4, no momento da escolha automatizada, realizada na própria EM sobre o tipo de sistema a ser priorizado na ocasião em que o usuário quiser iniciar uma conexão multimídia;

- **Seletor RF / Detetor Celular:** sistema complexo de recepção, atuante nas camadas 1 e 2, que desempenha funções de controle de recursos rádio, seleção de frequência de operação, filtragem seletiva, tipo de modulação, handoff intrasistêmico baseado em instruções advindas da rede (entre ERBs e/ou setores do mesmo sistema);
- **Decisor Multimídia Celular (DADOS):** sistema de análise sobre o tipo de tráfego de dados que está chegando à EM via sistema celular. No momento em que a EM estiver em condições de receber/enviar dados multimídia através da WLAN, este decisor apenas permitirá a recepção de informações de serviços de voz, sinalização e controle via rede celular;
- **Tratamento de canais lógicos para serviços de voz/sinalização e dados em rede celular; Processamento tradicional de redes celulares:** conforme mostrado na FIG. 6.5, este processo de camadas 2 e 3 precisa ser analisado como um bloco único em conjunto com o processamento tradicional de redes celulares. A conversão de canais lógicos em físicos e vice-versa, assim como a definição sobre o tipo de dados, se multimídia ou voz/controle, são realizadas na camada 3. Por outro lado, na camada 2 são efetuados os processamentos de correção de erros na recepção e entrelaçamento, repetição e perfuração de dados, codificação de canal na transmissão;
- **Processamento Sinal (Voz/Dados) paraTX em redes Celulares:** é o tratamento dado, de forma ordenada, às informações recebidas dos canais lógicos para conversão e adequação em canais físicos e vice-versa. Gerenciamento dos recursos rádio, controle de potência de transmissão, modulação etc;
- **Processamento Sinal (WLAN) paraTX:** é o tratamento dado às informações recebidas dos canais lógicos para conversão e adequação em canais físicos, gerenciando recursos rádio, controle de potência de transmissão, modulação, codificação, etc;

- **Amplificador e Seletor de RF (WLAN ou Celular):** elemento responsável pela seleção da frequência da portadora RF, pela conversão sinal de entrada em RF e pela amplificação do sinal para a transmissão;
- **Seletor de Sistemas (Processamento Central de Aplicação com o Usuário):** este é o elemento principal de processamento e controle que permite maior autonomia da EM. Responsável por tomar as decisões, a partir da EM, sobre qual sistema utilizar (WLAN ou Celular), baseando-se em critérios de informações que ele recebe das camadas inferiores sobre as condições das redes, bem como sobre qual tipo de aplicação, demanda de faixa e QoS necessários para atender o usuário. Graças a este modelo, mesmo quando uma EM estiver conectada à WLAN, o usuário poderá receber chamadas telefônicas e realizar trocas de informações de comando, controle e sinalização através da rede celular;
- **Conversor Analógico/Digital:** interface responsável pela compatibilização homem-máquina e vice-versa, através da tradução adequada da informação processada na camada de aplicação para o usuário, assim como no processamento fiel da informação da linguagem do usuário para a linguagem adequada na camada de aplicação;
- **Início/Fim:** interação funcional do usuário, gerando e utilizando aplicações para que sejam processadas pelo sistema e transmitidas ao destino, seja este uma máquina ou outro usuário.

6.4.2. ANÁLISE DA CONVERGÊNCIA PELO ASPECTO FÍSICO DA REDE

A análise que deve ser feita para o caso da convergência pelo ponto de vista da parte fixa da rede, segue a mesma tendência que já há algum tempo, observa-se nos vários ramos da ciência e tecnologia, principalmente os voltados para

comunicações em geral, uma convergência entre todos os diferentes protocolos de redes com o Protocolo IP, a fim de se compatibilizar e disseminar, cada vez mais, a utilização do Protocolo IP como o principal meio para transmissão de dados entre fonte (s) e destino (s). Desta forma, não poderia ser diferente com as redes móveis de um modo geral. A FIG. 6.6 a seguir, ilustra esta forma de convergência.

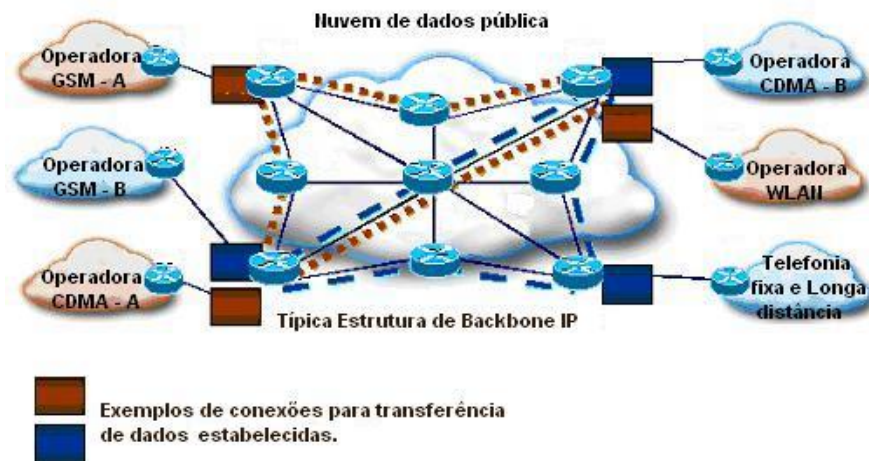


FIG. 6.6 Ilustração de convergência entre Backbones das diferentes redes

Deve-se notar da FIG. 6.6 acima, que o backbone das redes móveis deverão ter características bastante semelhantes aos tradicionais backbones de rede IP, detalhes estes que já vem sendo adaptados nas redes móveis com a adoção de roteadores de médio e grande porte, mesmo antes de ser apresentada a possibilidade de convergência destas redes com as recentes Redes Locais Sem Fio. Isso ocorre devido à própria tendência de evolução dentro das Gerações Móveis Celulares, onde há convergência para utilização de protocolos IP.

Desta forma, torna-se imprescindível demonstrar uma provável rotina que será utilizada pelas redes móveis, a fim de viabilizar esta proposta de convergência pacífica. Na FIG. 6.7 abaixo, serão detalhados, passo-a-passo os processos de gerenciamento e controle realizados pelo backbone da parte fixa da rede móvel.

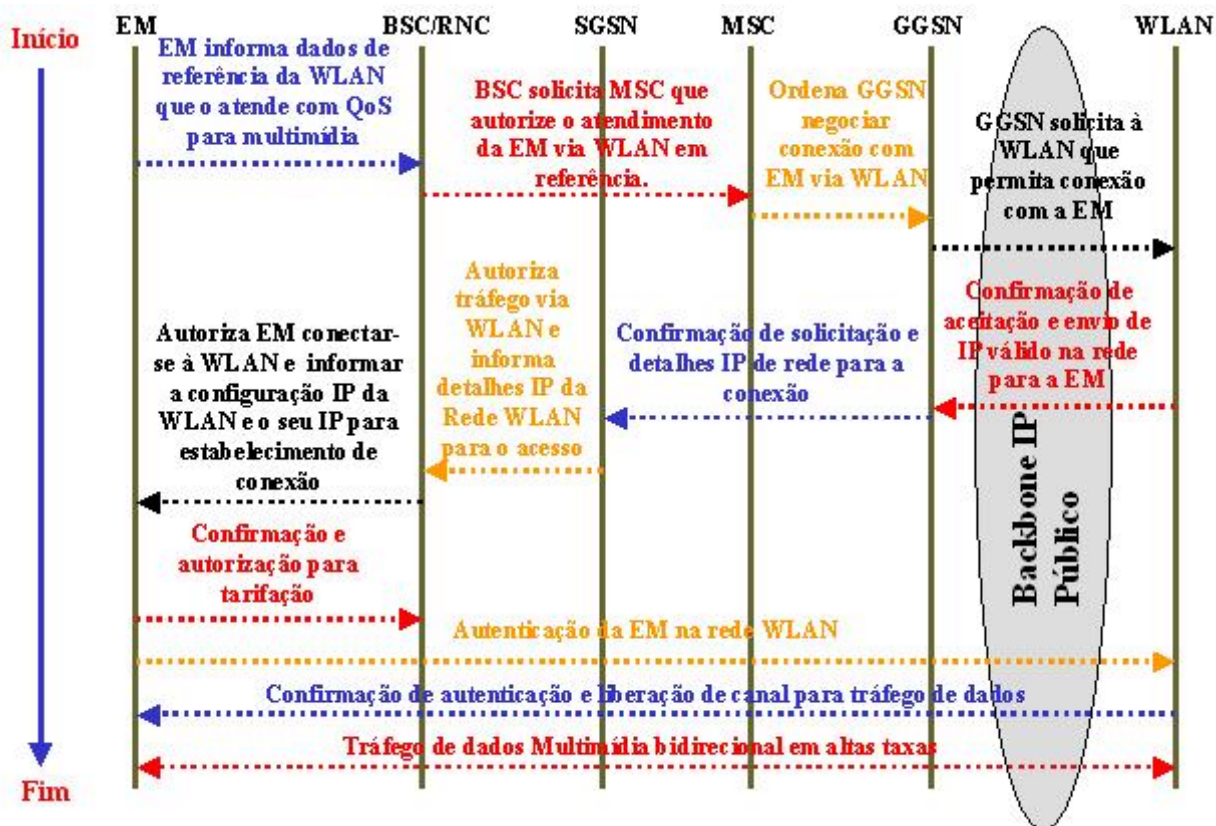


FIG. 6.7 Gerenciamento e Controle de Handoff entre sistemas pela parte fixa da rede

Vale ressaltar que todo este processo de troca de informações abordados na FIG. 6.7 acima, já ocorre em grande parte das redes, sejam móveis ou fixas, que se encontram conectadas à Internet. Portanto, nesta dissertação não serão abordados temas detalhados sobre protocolos de rede e endereçamento IP, a fim de não perder o foco principal da abordagem da proposta de convergência, tendo em vista que rotinas de negociações para transferência de dados em camada IP já são amplamente conhecidas e divulgadas.

7. ESTUDO DE CASOS

Este Capítulo discute duas situações prováveis de utilização de WLANs com as principais redes celulares existentes atualmente. Em cada caso são comentados os aspectos básicos da convergência e uma avaliação da capacidade de atendimento aos usuários pelas tecnologias em análise.

7.1. CASO 1 – CONVERGÊNCIA ENTRE REDES GSM/GPRS/EDGE E WLANS

Obviamente, estando o usuário na área de cobertura de uma WLAN, a sua transmissão de dados será sempre atendida por esta rede. No caso de transmissão de voz ou quando o deslocamento do usuário levá-lo para fora da área da WLAN, o atendimento passa para a rede GSM/GPRS ou GSM/EDGE. É claro que haverá um decréscimo da taxa de dados quando o usuário estiver sendo atendido pela rede GPRS/EDGE. Entretanto, para isso ocorrer, é provável que o usuário esteja com alta mobilidade ou em regiões de menor demanda para o uso dos serviços de dados, o que é aceitável sob o ponto de vista operacional da rede.

É evidente que, no caso específico das redes GSM, a melhor combinação, enquanto técnica de acesso TDMA, será sempre GSM/EDGE + WLAN. Isto se deve ao fato do sistema EDGE apresentar um desempenho superior ao antecessor GPRS no que diz respeito à capacidade de transmissão de dados. Partindo deste raciocínio, deve ser mencionado que, para as atuais redes GSM em operação, sejam elas GPRS (2G) ou EDGE (3G), provavelmente, não vale a pena realizar investimento na sua escala evolutiva com a implementação do sistema WCDMA (3G). Este sistema, por si só, não supera o ganho efetivo que se obtém na transmissão de dados das WLANs. Uma solução deste tipo tornaria inevitável a

necessidade de se combinar também WLANs com sistemas WCDMA de terceira geração, exarcebando por demais o custo para o operador da rede. Tal investimento certamente seria um custo a mais a ser absorvido pelos usuários, sob risco de diminuição na procura pelo serviço, ainda mais com a expectativa real de que, a Quarta Geração das Redes móveis será desenvolvida sob a ótica das redes sem fio metropolitanas (WMANs).

Atualmente a opção que soa melhor no mercado, estrategicamente falando, é a utilização complementar das WLANs, aproveitando a própria rede móvel celular existente. Por exemplo, GSM/GPRS + WLAN, ou GSM/EDGE + WLAN, ou ainda, caso haja disponibilidade WCDMA + WLAN. Em primeira aproximação, as soluções não devem considerar a possibilidade realizar novos investimentos na tecnologia de acesso das redes móveis celulares, pois estas, mesmo que sejam de terceira geração, podem estar com os dias contados.

Na avaliação da capacidade de atendimento será considerada a cobertura de um aeroporto de acordo com os seguintes dados para o sistema GSM/GPRS/EDGE:

Plano de reuso: 3/9;

Usuários por setor: 1000 (800 usuários de voz e 200 de dados);

Faixa disponível: 15 MHz (bandas D ou E);

Número de portadoras GSM: 75;

Número de portadoras por setor: 9 ou 10;

Taxa de transmissão de dados: 100 kb/s;

Tráfego médio por usuário: 25 mErl¹.

Com base nestes dados tem-se:

Tráfego de voz: $800 \times 0,025 = 20$ Erl;

Canais de voz para um grau de serviço de 2%: 28;

Portadoras de voz: 4 (sobram 4 janelas para os canais de controle);

Tráfego de dados: $200 \times 0,025 = 5$ Erl;

Canais de dados: 10

Portadoras de dados: 5 ou 6 (supondo 4 janelas por canal EDGE).

¹ Não existe informação precisa sobre o tráfego médio do usuário de dados. Optou-se por uma hipótese conservadora que possibilitasse o atendimento adequado pelo sistema EDGE. Observar que para um tráfego de 25mErl a ocupação média por conexão é de 90s, enquanto a transmissão de 2Mb com uma taxa de 100kb/s leva apenas 20s.

Desta forma, os setores com 10 portadoras serão atendidos adequadamente, mas nos setores com 9 portadoras o dimensionamento estará no limite. A utilização complementar de uma rede permitirá dar maior flexibilidade no atendimento dos usuários. Por exemplo, um sistema de 11 Gb/s, com uma taxa líquida máxima de 6 Gb/s, pode atender 60 usuários com uma taxa média de 100kb/s. Este número excede com ampla margem a necessidade acima calculada para o tráfego de 5 Erl.

7.2. CASO 2 – CONVERGÊNCIA ENTRE REDES CDMA 2000 E WLANS

Neste caso, o estudo é bem mais simples e fundamentalmente mais fácil de se formalizar um posicionamento a respeito. O sistema CDMA de segunda geração possibilita que a migração para a 3G (CDMA 2000) ocorra de forma suave e compatível, permitindo maior flexibilidade ao operador da rede para planejar seu investimento a médio e longo prazo. Entretanto, mesmo com a 3G CDMA implementada e operacional, o uso complementar de WLANs em pontos estratégicos de sua cobertura, torna-se fundamental. A WLAN, por si só, oferece em sua cobertura, no mínimo o dobro da capacidade de tráfego de dados de qualquer especificação de rede móvel de 3G em seu melhor caso de atendimento (usuário estacionado em ambiente interno – 2Mbps).

Desta forma, chega-se à conclusão de que para um ganho efetivo no tráfego de dados, mesmo havendo a implementação da 3G para as redes CDMA, as WLANs ainda são uma opção necessária. A estrutura da rede de dados via sistema CDMA será utilizada unicamente quando o usuário estiver em movimento e fora da região de cobertura da WLAN. Obviamente que a combinação CDMA 2000 + WLAN corresponde à situação mais favorável, quando se trata de capacidade de tráfego de dados pela rede móvel.

Vale ressaltar, que esta dissertação está comparando grandezas iguais (taxa de dados), em situações completamente diferentes, pelo ponto de vista das

condições de propagação. A taxa efetiva de downlink, para usuário parado em cobertura WLAN (ambiente externo) atende em torno de 4Mbps, enquanto que, para o usuário em movimento em cobertura de rede celular de segunda geração, a taxa situa-se em torno de 100kbps. Esta diferença entre as taxas é certamente sensível ao usuário da rede. No entanto, é aceitável, tendo em vista que, quando o usuário encontra-se em movimento, sua taxa de dados será sempre de menor valor. Conforme a própria especificação para a 3G destacada anteriormente, para um em movimento (200km/h), a taxa deverá ser ordem de 100kbps.

Empresas operadoras de telefonia móvel no Brasil estão trabalhando no desenvolvimento deste tipo de solução para suas redes. Principalmente nas grandes operadoras de rede GSM, já existem previsões de utilização de rede híbrida, a fim de postergar ao máximo, ou até mesmo evitar, a migração de sua rede móvel para o WCDMA. Segundo especialistas de empresas desenvolvedoras de tecnologias móveis (sem fio), também já existem modelos de terminais móveis com compatibilidade de conexão WLAN, apesar de ainda estarem em fase de testes laboratoriais (não sendo encontrados ainda no mercado).

Na estimativa da capacidade de atendimento será considerada a mesma situação do caso anterior acrescida das seguintes especificações:

- a) Canais de voz: 20 por portadora CDMA;
- b) Canais de dados:
 - b1) E_b/N_0 para uma taxa de 100 kb/s: 3,0 dB ($\Delta = 2$);
 - b2) Fator de atividade de dados (α): 1;
 - b3) Fator de interferência de outras células: 0,85;
 - b4) Fator de carga (μ): 0,5.

No que se refere tráfego de voz, foi visto anteriormente que são necessários 28 canais. Portanto, duas portadoras CDMA são suficientes. Relativamente ao tráfego de dados, o número de canais (M) por portadora é calculado através da expressão [ref.],

$$M = \left[1 + \frac{G_p}{\alpha \Delta} \right] x \frac{\mu}{1 + \beta}$$

Tem-se então,

$$M = \left[1 + \frac{12,3}{1 \times 2} \right] \times \frac{0,5}{1 + 0,85} \approx 2$$

No caso da banda A, canalizada com 9 portadoras CDMA, 2 serão utilizadas para o tráfego de voz e 7 para dados. Desta forma, na suposição de um grau de serviço de 2%, os 14 canais de dados (2 por portadora) poderão atender um tráfego de 8,2 Erl. Para a banda B, onde são disponíveis 8 portadoras CDMA, o tráfego será de 6,62 Erl. Verifica-se então que, independentemente da banda considerada, o tráfego de dados de 5 Erl será atendido. Vale ressaltar, no entanto, que a condição de 2 canais de dados calculada acima é otimista, pois o valor exato de M é 1,93. Caso fosse suposto 1 canal de dados por portadora, o tráfego de 5 Erl não seria atendido. Mais uma vez, a utilização complementar de uma rede WLAN resolveria de forma satisfatória o problema.

7.3. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Os números apresentados nos dois casos estudados mostram que o uso combinado do sistema celular com WLAN é adequado para atender áreas com alta densidade de usuários de dados. É claro que os exemplos descritos, embora utilizando especificações típicas dos sistemas existentes, ilustram situações fictícias, pois não foram definidas características da área a ser coberta, tais como, distribuição geométrica dos espaços e dimensões correspondentes, número de andares existentes no prédio do aeroporto, etc. Entretanto, caso houvesse mais detalhes, a importância do sistema WLAN seria destacada, uma vez que a capacidade do mesmo poderia ser duplicada pela utilização de um maior número de células.

8. CONCLUSÃO

Esta dissertação discutiu a convergência entre as tecnologias de comunicações móveis celulares de 2ª e 3ª gerações e as redes locais sem fio (WLANs). Trata-se de uma questão cuja relevância tem crescido recentemente em função da necessidade cada vez maior de harmonizar a mobilidade dos terminais de uma rede com a transmissão de taxas elevadas de dados. Em que pese as dificuldades de se obter informações de caráter prático dos fabricantes de equipamentos e das operadoras, procurou-se realizar um trabalho que, mantendo-se aderente à conceituação teórica dos sistemas envolvidos, destacou pontos a serem considerados no projeto e dimensionamento de redes híbridas (celular / WLAN).

A tendência de aumentar a oferta de capacidade para transmissão de dados discutida neste trabalho, embora ainda não tenha sido implementada, já está sendo consideradas pelas grandes operadoras de telefonia móvel. Mesmo no Brasil, onde as redes celulares têm por base a segunda geração, foram iniciados os processos de implementação do EDGE e do CDMA 2000 1xEV-DO nas principais capitais brasileiras, objetivando uma melhor capacidade e permitindo compatibilidade reversa, respectivamente, com as redes GSM/GPRS e CDMA existentes. Isto para que se permita uma forma de convergência mais eficiente, quando estas redes forem combinadas com WLANs. A intenção é aumentar a vazão de dados quando o usuário estiver em movimento fora da cobertura de uma WLAN, para que o descompasso no handoff de uma rede para não tenha um impacto exagerado para o usuário.

Com a finalidade de estabelecer a base de conhecimento para a análise da convergência em pauta, os Capítulos iniciais (1 a 5) descreveram aspectos básicos dos padrões que constituem as redes celulares e locais que operam atualmente de forma independente. A seguir, o Capítulo 6 tratou detalhes da convergência propriamente dita, incluindo itens como a categorização dos serviços, a relação existente entre cobertura e capacidade e culminando com a proposta de fluxogramas para o estabelecimento de conexão e handoff entre as redes, tanto no

sentido terminal móvel para a estação base como na direção contrária. No Capítulo 7 foram desenvolvidos estudos relativos a duas situações específicas envolvendo a utilização harmônica de WLANs com as principais redes celulares existentes, quais sejam, as que têm por base os sistemas GSM/GPRS/EDGE e CDM 2000. Tomando por base uma taxa de transmissão de 100 kb/s, verificou-se em ambos os casos que os sistemas celulares considerados poderiam, em princípio, atender uma área de com alta densidade de usuários de dados. Entretanto, os resultados numéricos evidenciaram que este atendimento seria em condições limites ou próximas de um limite, não permitindo aumento significativo da taxa de transmissão caso isto se fizesse necessário ou a expansão do número de usuários. Concluiu-se então pela importância da integração das redes celulares com redes WLANs, as quais dariam cobertura nos pontos prováveis de congestionamento. Por outro lado, como destacado diversas vezes ao longo do texto, as redes celulares ficariam responsáveis pelos locais não cobertos pelas WLANs ou quando a mobilidade passa-se a representar um objetivo a ser atendido.

Embora os resultados apresentados tenham evidenciado a importância da combinação rede celular/WLAN para as empresas operadora, não existe a pretensão de que a análise aqui desenvolvida esgotou a questão. Além da necessidade de equipamentos duais que possibilite a passagem de um padrão para o outro, no contexto dos futuros sistemas de comunicações móveis existem inúmeros pontos a serem clarificados para tornar viável esta integração nos aspectos técnicos, operacionais e mercadológicos. Alguns destes pontos estão relacionados a seguir e poderão vir a constituir objeto de estudos futuros dando continuidade à investigação constante da presente dissertação.

- a) Realizar simulações englobando situações que sejam mais aderentes à realidade, incluindo, entre outros aspectos, a descrição do ambiente onde se processa a propagação dos sinais, um estudo detalhado da relação entre o tráfego de dados e o número de canais necessários para o atendimento adequado, o desenvolvimento de um procedimento de cálculo atrelado às características técnicas dos equipamentos existentes e que sirva de base para o projeto de sistemas híbridos, etc;

- b) Formalização e detalhamento de protocolos de sinalização e controle de handoffs entre redes móveis celulares e WLANs, quando for efetivamente implementada a utilização híbrida entre as mesmas;
- c) Formalização da proposta de gerenciamento de handoffs entre sistemas celulares e WLANs, quando um usuário se desloca pela rede utilizando serviços de dados;
- d) Desenvolvimento de protocolo superior para gerenciar os procedimentos de comutação dos protocolos inferiores, de maneira transparente, entre os sistemas convergentes das futuras gerações de redes móveis.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVEN, D.; ARJUNANPILLAI, R.; FARHANG, R.; KANSAL, S.; KHAN, N. & LEUJVEN, U. (2001). **"Hotspots - Connect the dots for a wireless future: Final report for Ericsson business Innovation and Telia research"**. Maio de 2001, disponível no sitio: <http://www.dsv.su.se/~mab/alven.pdf>.
- CARROS, D., **"Mobile Carriers: No single standard in sight"**. Tech Update ZDnet. Novembro de 2001, disponível no sitio: <http://techupdate.zdnet.com>.
- DORNAM, A., **"The essential guide to wireless communication application: from mobile system to Wifi (2ª. edição)"**. Upper Saddle River, NJ. 2002. Prentice Hall PTR.
- ERICSSON, **"EDGE – Introduction of High Speed Data in GSM/GPRS networks"**. AE/LZT 123 7058 R2. Ericsson AB 2003. Disponível no sitio: <http://www.ericsson.com>.
- FRODIGH, M.; JOHANSSON, P. & LARSSON, P., **"Wireless Ad Hoc Networking – The art of network without a network"**. Ericsson Review no. 4. 2000. pp. 248 – 63.
- GOODMAN D. J., **"Wireless Personal Communications Systems"**, The Addison-Wesley Communication System, 1999.
- HOLMA & TOSKALA, **"WCDMA for UMTS: radio access for third generation mobile communications"**. John Wiley, 2000.
- HONKASALO, H.; PEHKONEM, K.; NIEMI, M. & NOKIA, ANNE T. L., **"WCDMA & WLAN for 3G and Beyond"**. IEEE Wireless Communication. Abril de 2002.
- IEEE802.16., **"IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Parts 16: Air Interface for fixed Broadband Wireless Access System"**. IEEE Wireless Communication. Abril de 2002.
- IEEE802.16., **"IEEE Recommended Practice for Local and metropolitan area networks – Coexistence of fixed broadband wireless access systems"**. IEEE Wireless Communication. Setembro de 2001.
- JOHNSTON, D. (INTEL), **"802.21, L2 Triggers – A Strawman Proposal"**, IEEE802.21_IETF_Mobopts_r1, March 2004.
- LEE J. S. & MILLER L.E., **"CDMA Systems Engineering Handbook"**. Artech House, 1998.

- LEHR, WILLIAM; MACKNIGHT, LEE W. , **“Wireless Internet Access: 3G vs WIFI?”**. MIT. Cambridge, 2003.
- MOTOROLA, **“Work Item Discription Sheet for High Speed Downlink Packet Access”**. TSGR #7(00)0032. 13-15 março de 2000. Madrid – Espanha. P.3.
- NEE, R. VAN & PRASED, R., **“OFDM for wireless Multimedia communications”**. Artech House, 2000.
- NUNES, DANTON e BRITO, ETHY HRNRIQUES. **“Redes Sem Fio: Uma Forma Eficiente de Conexão à Internet”**. 2002.
- OJANPERÄ T. & PRASED R., **“Overview of air interface multiple access of IMT-2000/UMTS”**. IEEE Communication Magazine, September 1998, pp. 82-95.
- OPPERMANN, IAN., **“The Role of UWB in 4G”**. Centre for Wireless Communications, University of Oulu, Oulu, Finland. Wireless Personal Communications 29: 121-133. Kluwer Academic Publishers, 2004.
- PARSONS, J.D., **“The Mobile Radio Propagation Channel”**. John Wiley & Sons, 1992.
- RAPPAPORT, T.S.; ANNAMALAI, A.; BUERHER, R.M.& TRANTER, W., **“Wireless Communications: Past Events and a Future Perspective”**. IEEE Communication Magazine. 50th Aniversary commemorative issue. Maio de 2002.
- THEODORE S. RAPPAPORT, **“Wireless Communications - Principles & Practice”**, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 1996.
- WILLIAMS, M.G. (NOKIA), **“Possible MIH MAC abstractions and services”**. IEEE802.21-session #04, September 2004.
- ZAWEL, A., **“Enterprise need for public and private Wireless LANs. Wireless/Mobile Enterprise Commerce”**. The Yankee Group, julho de 2002.

APÊNDICES - A

A.1. PERSPECTIVAS DAS REDES SEM FIO PARA AS GERAÇÕES MÓVEIS SEGUINTE

Na FIG. A.1 abaixo, tem-se uma idéia histórica sobre todas as etapas evolutivas das comunicações móveis até a realidade atual. Entretanto, a previsão sobre o futuro dessas redes está sendo remodelada em tempo recorde, devido aos fatores diversos já mencionados nos capítulos desta dissertação, principalmente com o aparecimento de novas tecnologias como a WLAN e o *Bluetooth*, que apareceram sem maiores pretensões no cenário das comunicações móveis celulares, mas sem dúvidas ocupam atualmente uma posição estratégica sobre o rumo das seguintes etapas a serem cumpridas na história da telefonia celular.

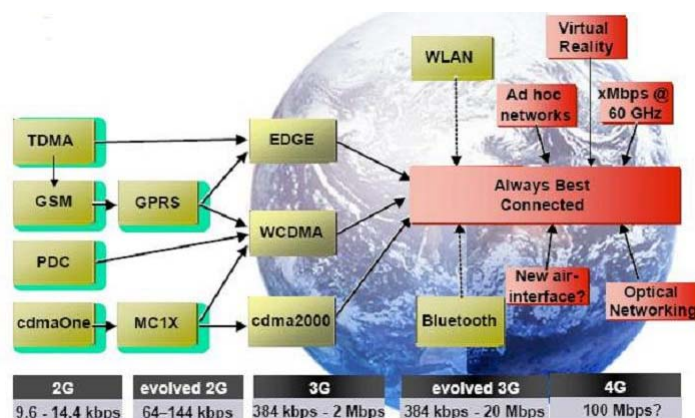


FIG. A.1 Perspectiva de futuro nas comunicações móveis sem fio

A seguir, tem-se um pouco mais de detalhes a respeito do sistema 802.16, em desenvolvimento pelo IEEE, que busca solucionar problemas atuais de Interoperabilidade - principalmente com as redes móveis celulares de 2 e 3 geração, além de melhorar o alcance atual das redes sem fio para prover cobertura em ambientes externos, de maneira eficiente, propiciando alta taxa de transmissão de dados para tráfego multimídia.

A.1.1. WIMAX – IEEE-802.16

Ainda pouco conhecido no Mercado, o padrão wireless 802.16 está a caminho de revolucionar a indústria de acesso sem fio em banda larga. O padrão 802.16 é também conhecido como a interface aérea da IEEE para WMAN, isto é, das redes metropolitanas sem fios. Esta tecnologia está sendo especificada pelo grupo do IEEE que trata de acessos de banda larga para última milha em áreas metropolitanas, com padrões de desempenho equivalentes aos dos tradicionais meios tais como DSL, Cable modem ou E1/T1.

A FIG. A.2 abaixo apresenta o posicionamento de cada um dos padrões de acesso sem fio, mostrando do lado esquerdo o padrão IEEE e do lado direito o padrão ETSI equivalente, desenvolvido na Europa. É importante ressaltar que este trabalho está sendo baseado nas previsões especificadas pelo IEEE.

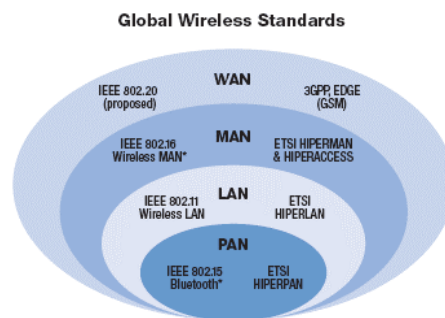


FIG. A.2 Os padrões WLAN

Originalmente, o padrão 802.16, que foi ratificado em Dezembro de 2001, estava focando basicamente as faixas de frequências situadas entre 10GHz e 66GHz considerando sempre aplicações com linha de visada. A versão 802.16a, que foi concluída em 2003, passou a focar as aplicações sem linha de visada, dentro das faixas de frequência entre 2GHz e 11GHz, considerando também os aspectos de interoperabilidade com outras redes da família WLAN.

A TAB. A.1 que se segue, apresenta a evolução das especificações do IEEE para a WMAN .

Dezembro de 2001	Dezembro de 2002	Janeiro de 2003	1º Trimestre de 2004	4º Trimestre de 2004
IEEE-802.16	IEEE-802.16c	IEEE-802.16a	WIMAX / IEEE-802.16d	IEEE-802.16e
10-66GHz, com linha de visada, até 34Mbps(Canalização de 28MHz)	Interoperabilidade (internetworking)	2-11GHz, sem linha de visada, até 75Mbps(canalização de 20MHz)	Modificações no IEEE-802.16a e interoperabilidade.	Mobilidade Nomádica (802.11/16)

TAB. A.1 Especificações WMAN

A.1.2. WIMAX – FÓRUM

O WIMAX Fórum (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) www.wimaxforum.org é uma organização sem fins lucrativos, formada por empresas fabricantes de equipamentos e componentes, que tem por objetivo promover em larga escala a utilização de redes ponto multiponto, operando em frequências entre 2GHz e 11GHz, alavancando a padronização IEEE 802.16 e garantindo a compatibilidade e interoperabilidade dos equipamentos que adotarem este padrão. O WIMAX Fórum é o equivalente, ao *Wi-Fi Alliance*, responsável pelo grande desenvolvimento e sucesso do Wi-Fi em todo o mundo .

O WIMAX é constituído pelas indústrias líderes do setor, que estão comprometidas com as interfaces abertas e com a interoperabilidade entre os diversos produtos utilizados no tipo de acesso sem fio em banda larga. Este poderoso grupo pretende motivar um mercado mais competitivo, através de um conjunto mínimo de especificações de desempenho da interface aérea, entre os produtos dos diversos fabricantes, certificando aqueles produtos que atendam a estas especificações.

Para os operadores de rede, esta interoperabilidade e compatibilidade entre equipamentos significa a não dependência de um fornecedor para o desenvolvimento de sua rede.

Para os fabricantes de equipamentos significa menos tipos diferentes de produtos a desenvolver e a produzir. Para os fabricantes de componentes, significa

uma escala de produção muito maior. Para o usuário final significa acesso em banda larga sem fio cada vez mais velozes e mais baratos.

A.1.3. EXPECTATIVAS DO WIMAX

O WIMAX irá facilitar o desenvolvimento de uma série de aplicações Sem fio em banda larga, conforme apresentado na FIG. A.3 que se segue:



FIG. A.3 WIMAX ou IEEE-802.16

Estas aplicações são possíveis pelas seguintes características do WIMAX:

- ✓ Fornecimento de link de dados de $N \times E1$ (com garantia de banda e parâmetros de QoS) com empresas e grandes corporações;
- ✓ Fornecimento de link de dados de fração de E1 ($n \times 64\text{kbps}$ com garantia de banda e parâmetros de QoS) para pequenos empresários e empresas de pequeno porte;
- ✓ Fornecimento de link de dados em banda larga, em padrão equivalente ao ADSL /Cable Modem, atualmente servidos a clientes residenciais;

- ✓ Portabilidade, isto é, o usuário pode transportar seu terminal móvel (Estação Móvel) sem perder conectividade em uma região atendida pela WMAN sem, com isso, alterar em nada sua qualidade de serviço;
- ✓ Instalação da Interface de operação WLAN no modo *plug and play*;
- ✓ Cobertura sem linha de visada;
- ✓ Compatibilidade entre WLANs e WMANs de forma a parecer transparente para o usuário a transição entre os sistemas, quando este estiver em movimento;
- ✓ Compatibilidade para entroncamento entre Backbones das tradicionais redes fixas e redes móveis celulares com a tecnologia WMAN, permitindo roteamento de aplicações multimídia, serviços de voz digital e serviços de aplicativos Web, totalmente compatíveis e transparentes ao usuário. Neste caso, a tarifação também ocorrerá de forma criteriosa, de acordo com a utilização dos serviços efetivamente usufruídos por cada usuário.

A.1.4. PREVISÃO DE ESPECTRO PARA O WIMAX

Oficialmente o padrão 802.16a/d está sendo estabelecido para faixa de frequências entre 2GHz e 11 GHz, porém existe interesse de utilizá-lo também em bandas inferiores a 2GHz. Na TAB. A.2 abaixo, são relacionadas algumas das faixas espectrais, conforme definido pelo FCC dos Estados Unidos, que poderão ser utilizadas pelo padrão 802.16a/d.

Aplicação	Faixa de Frequência	Observações
UHF	0,75 - 0,8 GHz	X
ISM	0,9 - 0,93GHz	Banda não licenciada, para utilização em aplicações industriais, científicas e médicas
UPCS	1,91 - 1,93GHz	Banda não licenciada para utilização em serviços de comunicação pessoal
WCS	2,3GHz	Wireless Communications Service
ISM	2,4 - 2,48GHz	Banda não licenciada, para utilização em aplicações industriais, científicas e médicas
MMDS	2,5 - 2,7GHz	Multi-Channel Multipoint Distribution Service
Internacional	3,4 - 3,7 GHz	Banda licenciada na Europa, América Latina e Ásia
	4,8 - 5,0 GHz	Banda licenciada no Japão
UNII	5,15 - 5,35 GHz; 5,725 - 5,85 GHz	Banda não licenciada, para uso do serviço nacional de informação de infra-estrutura
Novo Espectro	5,470 - 5,725 GHz	X

TAB. A.2 Espectro WIMAX

A.2. EXPECTATIVAS PARA A 4G

Em meio a tantas possibilidades sendo especuladas como sendo a provável seqüência de evolução das atuais redes móveis celulares, surgem ainda novas técnicas que reafirmam e mostram com força ainda maior, a expectativa de se obter no futuro, serviços sem fio com total interoperabilidade e compatibilidade entre as diversas técnicas emergentes de hoje, que propiciarão serviços com QoS em qualquer região onde estiver o usuário conectado. Além de permitir que este mesmo usuário possa selecionar seu tipo de conexão, baseado em parâmetros de QoS para cada determinado tipo de aplicação.

A idéia principal é que as gerações móveis sem fio seguintes sejam provisionadas de forma a permitirem superposição compatível com todas as outras tecnologias sem fio, permitindo acesso universal e transparente ao usuário móvel, através de uma única Estação Móvel (EM). O principal objetivo da Quarta geração móvel, ainda em desenvolvimento, é prover a usuários uma grande variedades de serviços, com largura de banda variável e QoS durante todo o tempo de conexão e em qualquer localidade física deste usuário.

Neste caso, interoperabilidade e compatibilidade podem ser definidas como a capacidade de redes totalmente heterogêneas, poderem oferecer suporte de *roaming* entre diferentes tecnologias de acesso sem fio, sempre mantendo os requisitos mínimo de QoS aos usuários.

Para tanto estão em desenvolvimento e aprimoramento, nos diversos meios acadêmicos e de pesquisa, técnicas diversas que possibilitarão o incremento esperado e necessário das taxas de dados das atuais redes móveis celulares, que atualmente passam por grande descrença em sua potencialidade de evolução, frente às pequenas expectativas de capacidade de tráfego de dados em sua 3G, em comparação com as potentes e competentes WLANs. Apesar de estas ainda possuírem poucos recursos de segurança e garantia de QoS em relação àquelas.

Entretanto, deve ser ressaltado que as Redes Móveis Celulares já atingiram quase três décadas de existência, enquanto que as WLANs têm apenas pouco mais de meia década, já apresentando grandes avanços atualmente nestes aspectos.

Dentre as tecnologias em grande evidência que possivelmente farão parte deste cenário da 4G, pode-se citar a UWB (*Ultra Wideband*) ou Banda Ultra-Larga; técnicas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) ou múltiplas entradas e múltiplas saídas, além das técnicas OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) ou Multiplexação por Divisão de Freqüências Ortogonais.

A.2.1. UWB

Nos últimos 20 anos, o UWB foi utilizado em aplicações de radar, sensoriamento, comunicações militares e nichos específicos de aplicações. Em 2002, houve uma tremenda mudança neste panorama quando o FCC determinou que o UWB também poderia ser utilizado em aplicações comerciais para comunicações de dados pessoais.

A faixa espectral inicialmente alocada para o uso do UWB era em torno de 7,5GHz, relativamente distante de qualquer faixa de RF terrestre para uso comercial.

Os sistemas sem fio UWB podem oferecer taxas de dados da Ordem de dezenas Gigabits por segundo em curtas distância (até 5 metros) sem utilizar, para tanto, translação (modulação) em freqüência, ou seja, tudo ocorre em banda básica. Todas estas características intrínsecas do UWB o tornam muito atraente. Principalmente por trabalhar em banda básica, os equipamentos transceptores são muito menos complexos e sem necessidades de possuírem dispositivos lineares de amplificação de sinais.

Está técnica utiliza pulsos UWB de baixa energia concatenados para transportar bits de informação. A medida em que se distanciam, a fonte e o destino, é necessário que se aumente o número destes pulsos, para se poder representar o

mesmo bit de informação. Para distâncias da ordem de 20 metros, o UWB não proporciona taxas de dados de maneira eficiente, se comparados a WLANs atuais.

O UWB representa hoje uma enorme expectativa para sistemas sem fio tipo Ad Hoc e ponto a ponto (*bluetooth*). Ver FIG. A.4 abaixo que mostra as possibilidades de utilização previstas para o UWB.

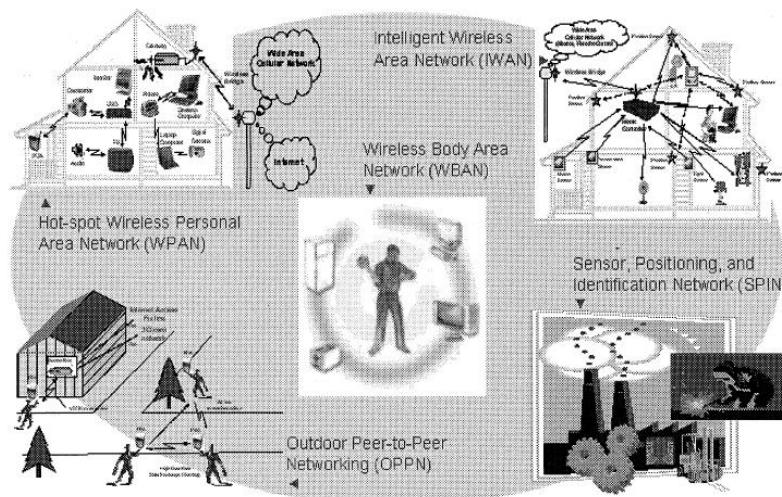


FIG. A.4 Aplicações previstas para o UWB

Da FIG. A.4, pode-se notar fundamental utilização de sistemas UWB em Redes Locais Pessoais, redes Ad hoc, sistemas ponto a ponto, etc.

Ainda neste contexto, pode-se citar algumas vantagens do uso de sistemas UWB:

- Baixo custo e complexidade;
- Sinal apresenta características próximas de ruído. Ainda sob avaliação os efeitos de se utilizar sistemas UWB simultaneamente com outros sistemas RF em mesma faixa, sem que haja interferência entre eles.
- Resistente aos efeitos de Multipercurso;
- Possui excelente resolução no domínio do tempo, permitindo realizar precisos mecanismos de localização, procura e sincronização. Neste último caso, melhor do que a sincronização obtida com redes GPS.

A.2.2. TÉCNICA MIMO (MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)

Estima-se que somente as faixas de freqüências atualmente disponíveis para serviços móveis terrestres não serão suficientes para que se atinja a grande demanda gerada por serviços de dados sem fio. Além disso, Espectro de freqüência representa significativo investimento de capital, já observado na implementação da 3G em alguns países da Europa. Sendo assim, provedores de serviços sem fio precisam otimizar o retorno do seu investimento aumentando a capacidade de seus sistemas celulares.

Desta forma foi desenvolvida a técnica MIMO, que utiliza um arranjo ou conjunto de antenas tanto na recepção quanto na transmissão, que simultaneamente oferece ao sistema diversidade temporal e espacial. Esta técnica provê grande melhora na eficiência espectral dos sistemas de comunicações pessoais móveis, provendo melhoras na capacidade dos sistemas e extensão da faixa a um baixo custo, se comparado a utilização de técnicas de setorização ou redução de raio das células.

Basicamente, a técnica MIMO consiste em um conjunto de antenas inteligentes que melhoram a eficiência na transmissão e recepção de um sistema transceptor sem fio.

A.2.3. ANTENAS INTELIGENTES (SMART ANTENNAS)

Antenas Inteligentes são antenas desenvolvidas com inteligência de algoritmos complexos que determinam a diretividade, de maneira ótima, do feixe de um conjunto de antenas (*ARRAY*) para determinada região de interesse, a fim de que se possa melhorar as características de desempenho dos sistemas móveis, de

forma a fazer com que o nível do sinal do feixe das ERB acompanhem seus usuários móveis, melhorando o limiar de recepção, melhorando também com isso, a capacidade de comunicação em maiores distâncias.

Conseqüentemente, com esta inovadora técnica de uso das antenas inteligentes, consegue-se em experimentos laboratoriais melhorar, em razoáveis percentuais, a vazão de dados de sistemas móveis de terceira geração, onde a relação E_b/N_0 (Energia de bit por Nível de Ruído) é quem determina o limiar da taxa de dados em que poderá o usuário trafegar a cada instante.

A.2.4. OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING)

O OFDM é uma forma especial de transmissão multiportadora onde a um único feixe de dados de alta velocidade é transmitido através de um número determinado de subportadoras de menores taxas. Esta técnica já existe desde os anos 60 em aplicações militares de altas frequências. Recentemente o OFDM voltou a entrar em evidência como solução comercial para Serviços Sem Fio em Banda Larga, em virtude de avanços tecnológicos atingidos industrialmente com a integração em escala muito grande (VLSI), que torna o chips de Transformada Rápida de Fourier (FFT) comercialmente viável. Dentre outras vantagens, pode-se dizer que:

- O OFDM é bastante robusto contra o desvanecimento multipercurso e interferência intersimbólica;
- O OFDM permite utilizar eficientemente o espectro de rádio-frequências disponível, através do uso de modulação adaptativa e alocação de potência pelas subportadoras, que são casadas com as condições do canal submetido a variação lenta, utilizando processamento de sinal digital programável;

- O OFDM possui robustez contra interferências que atingem uma larga faixa de frequências, pois tais interferências somente afetam uma pequena fração das subportadoras. O OFDM não precisa ter faixa contínua de frequência para operar. O quanto mais distante forem as frequências das subportadoras, o quanto mais eficiente e robusto será o sistema OFDM;

O OFDM torna possível a criação de Redes com frequência única, o que é particularmente atraente para aplicações Ponto-Multiponto.

GLOSSÁRIO – TERMOS TÉCNICOS E EXPRESSÕES USADAS

Access Point, ou Ponto de acesso (AP)	Equipamento transceptor sem fio de uma WLAN.
AMPS	Advanced Mobile Phone System, ou Sistema Telefônico Móvel Avançado. Considerado a primeira Geração celular (sistema analógico).
Backbone	Do inglês significa espinha dorsal, no vocabulário tecnológico significa estrutura principal de uma rede de dados.
Backoff Delay	Espera que uma EM aguarda até reiniciar probes de acesso.
Blank and Burst	Vazio e Rajada. Significa que parte da informação útil é retirada (Blank) para serem inseridas informações de controle (Burst). Há perda de informação entre usuários, entretanto, na maioria das vezes é imperceptível.
CDMA	Code Division Multiple Access, ou Acesso Múltiplo por Divisão em Código.
CDMA 2000	Considerado a evolução 3G dos sistemas CDMA 2G (IS-95).
Core Network	Rede Principal.
Direct Sequence (DS)	Seqüência Direta.
Downlink	Enlace de descida. Em comunicações móveis chama-se Enlace Direto.
Download	Nome utilizado para significar a baixa de dados através de uma rede.
DRNC	Drift RNC, ou Auxiliar RNC.
Dual mode	capacidade de operar em dois sistemas diferentes.
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution. Considerado um sistema de 3G para o GSM moderado/limitado.
ERB	Estação Rádio-Base.
EM	Estação Móvel ou Terminal Móvel. Equipamento utilizado pelo usuário final para usufruir serviços móveis. Atualmente estão sendo considerados laptops, Palmtops, celulares, etc.
FCC	Federal Communications Commission, ou Comissão Federal de Comunicações. Órgão regulatório das comunicações norte-americanas.
FDMA	Frequency Division Multiple Access, ou Acesso Múltiplo por Divisão de Freqüência.
Frequency Hopping (FH)	Saltos em Freqüências.
Gateway	Porta de passagem.
GGSN	Gateway GPRS Support Node.
GPRS	General Packet Radio System – Corresponde a solução de 2G para tráfego de dados em sistemas GSM.
GSM	Global System for Mobile Communication. Termo utilizado em comunicações móveis para significar a rotina de processos complexa que ocorre quando uma EM muda de uma célula atendida por uma determinada ERB, para outra célula atendida por outra ERB do mesmo sistema. É devido a este processo que é possível manter uma comunicação em curso quando a EM está em movimento.
Handoff	
Hotspot	Região delimitada onde há cobertura de uma rede local sem fio (WLAN).
IDLE	Módulo de uso em espera.
IEEE	Instituto de Engenharia Eléctro-eletrônica.
Indoor	Ambiente Interno.
ISP	Internet Service Provider ou, Provedor de Acesso a Internet.

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, ou Multiplexação por Divisão em Freqüências Ortogonais.
Offset	retardo, atraso.
Outdoor	Ambiente externo.
Paging	termo utilizado em comunicações que significa busca.
Probes	Tentativas de acesso.
PWLAN	Public WLAN, ou WLAN pública.
Rake Receiver	Receptor tipo ancinho. Usado em sistemas CDMA.
Rate Set	Conjunto/grupo de taxas.
RNC	Radio Network Controller, ou Controladora da rede-rádio.
Roaming	termo utilizado para significar cobertura, ou seja, áreas de atendimento no serviço sem fio prestado.
SGSN	Serving GPRS Support Node.
Spread Spectrum (SS)	Espalhamento Espectral.
SRNC	Serving RNC, ou RNC Servidora.
Standby	Módulo de uso em espera.
TDMA	Time Division Multiple Access, ou Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo.
Throughput	Vazão.
Timeslots	Janelas de tempo. Geralmente utilizado em temas relacionados a técnicas TDM.
UMTS	Universal Mobile Terrestrial System, ou Sistema Universal Móvel Terrestre. Uma outra nomenclatura para o WCDMA.
Uplink	Enlace de subida. Em comunicações móveis chama-se Enlace Reverso.
Upload	Nome utilizado para significar a subida de dados através de uma rede.
WCDMA	WideBand Code Division Multiple Access, ou Acesso em Banda Larga Múltiplo por Divisão em Código. Considerado sistema de 3G na evolução da rede GSM.
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance, ou Aliança para Compatibilidade entre Redes Ethernet Sem Fio.
Wi-Fi	Wireless Fidelity. Uma especificação de WLAN.
Wi-Fi Alliance	Aliança WI-FI.
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access, ou Acesso em Microondas com Compatibilidade e Alcance Mundial.
WLAN	Wireless Local Área Network, ou Rede Local Sem Fio.
WMAN	Wireless Metropolitan Área Network, ou Rede Metropolitana Sem Fio.
WRC2003	World Radiocommunication Conference – 2003, ou Conferência Mundial de radiocomunicações – 2003.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)