



MESTRADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**Análise de Requisitos para o Encaminhamento
Eficiente de Tráfego Sobre W-CDMA**

Por

Ricardo Gomes de Queiroz

Dissertação de Mestrado



Universidade Federal de Pernambuco
posgraduacao@cin.ufpe.br
<http://www.cin.ufpe.br>
<ftp://ftp.cin.ufpe.br/pub/posgrad>

RECIFE, Fevereiro/2003



Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Informática – Cin

Mestrado em Ciência da Computação

Análise de Requisitos para o Encaminhamento Eficiente de Tráfego Sobre W-CDMA

Por

Ricardo Gomes de Queiroz

Dissertação apresentada ao Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Redes de Computadores, Telefonia Móvel e Multimídia.

Orientadora: Profa. Dra. Judith Kelner.

Ao meu Pai,
Manuel Sampaio de Queiroz Filho.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, por sempre me carregar em seus braços em todos os momentos difíceis da minha vida.

Agradeço a minha Mãe pela sua fé, perseverança e seus conselhos sempre ponderados. Sem a luz irradiada pela sua alma nossa família não seria a família que é hoje.

Agradeço a meu Pai por ser uma pessoa maravilhosa, pelo seu carinho sempre constante, e, sobretudo, pelos esforços realizados, além das suas possibilidades, para que eu pudesse ter uma boa educação.

Em especial, a Ana Maria, que desde o início dessa jornada esteve presente. Agradeço por todos os inúmeros momentos de apoio, pela ajuda constante nos momentos difíceis e, principalmente, por fazer parte da minha vida. Seu sorriso constante impedia que eu entristecesse.

Faltam-me palavras para agradecer a Minha Orientadora, Professora Judith Kelner, que com sua capacidade impar de sempre ter uma solução para cada problema foi essencial para a realização dessa pesquisa. Obrigado pelo apoio e pela imensa ajuda dispensada.

Agradeço muitíssimo ao Professor Djamel Sadok pelas orientações e por alguns comentários e conselhos que fizeram com que eu me empenhasse muito mais em fazer um bom trabalho.

Existe alguém a que agradeço, em especial, por viabilizar a conclusão desse trabalho. Sem a sua compreensão e colaboração com certeza nada disso seria possível. Muito obrigado Geraldo Souza Câncio Júnior (Diretor técnico da PRODATER).

Agradeço as Faculdades em que leciono, FATEPI e FACID, por compreenderem a importância da conclusão desse trabalho.

E, finalmente, agradeço aos amigos Constantino, Flávio Ferry, Diego, Gil Jr. e Luiz Cláudio pela ajuda imprescindível em remover algumas pedras do meu caminho.

Resumo

Nos últimos anos a área de telecomunicações tem sido foco de muitas pesquisas e avanços tecnológicos e neste campo uma das tecnologias que mais evoluiu foi a de redes sem fio (*wireless*). As redes *wireless* devido a sua capacidade em oferecer mobilidade e a possibilidade de conexão a sistemas de telecomunicações, sem a necessidade de cabos tornaram-se um campo altamente promissor e as perspectivas de futuro são ainda melhores.

As tecnologias *wireless* estão divididas em várias aéreas onde cada uma, no seu âmbito de pesquisa, evolui de forma muito acelerada. Dentre as tecnologias *wireless*, uma das que mais evoluiu nos últimos dez anos e que tem incorporado cada vez mais aplicações e funcionalidades, pertencentes até então a outras tecnologias, é a telefonia móvel. Os sistemas de telefonia móvel caminham para oferecer os mais avançados serviços e prover suporte aos mais variados tipos de tráfego, inclusive tráfego multimídia.

Os sistemas de telefonia móvel a cada geração vêm implementando mecanismos para oferecer suporte às novas tecnologias incorporadas, até que a segunda geração (2G) implementou mecanismos para o tráfego de pacotes e acesso a Internet. Embora as taxas de dados fossem modestas e o mecanismo de comutação ainda fosse a comutação de circuitos, isso representou um grande avanço em termos tecnológicos. Certamente este fato também impulsionou o surgimento de uma nova geração que, por sua vez, incorporou funcionalidades ainda mais avançadas além de implementar um novo mecanismo de comutação, a comutação de pacotes.

Um dos mais pesquisados e difundidos sistemas de telefonia móvel de terceira geração é o *Wideband* CDMA, o qual possui características e funcionalidade que vão além das especificadas para sistemas 3G [PRAS98]. Dessa forma, este estudo analisa a performance da interface aérea do W-CDMA no que diz respeito ao encaminhamento eficiente de tráfego, considerando as estruturas dos canais físicos de tráfego disponibilizados e as diversas interferências as quais os canais de tráfego estão sujeitos. Os resultados obtidos fornecem subsídios para uma avaliação da performance do W-CDMA quanto ao processo de transmissão de dados e identifica os fatores que influenciam diretamente nas taxas de dados e taxas de erros dos canais. Por conseguinte, apresenta alternativas para combater esses fatores mantendo o nível de serviço requerido por cada classe de serviço.

Abstract

In recent years the area of telecommunications has been the focus of many research and technological advances especially in the field wireless communications. Wireless networks are increasingly popular for their capacity to offer mobility and possibility of connecting to systems without the need for the use of wires.

Wireless technologies are divided in several areas where each one, with its scope of research, evolves quickly. Amongst the wireless technologies, one that has more evolved in last ten years and that has incorporated each time more applications and functionalities, pertaining until then to other technologies, is the mobile telephony. The systems of mobile telephony seek to offer new advanced services and to provide support to the most varied types of traffic, including multimedia traffic.

Mobile telephony systems implement mechanisms that offer support to the new incorporated technologies. The second generation (2G) implemented mechanisms for the traffic of data packets and access to the Internet. Although the throughput was modest and the switching mechanism still was circuit switching it represented a great advance in technological term. It certainly drove the appearance of a new generation that, in turn, incorporated functionalities still more advanced besides implementing a new mechanism of switching, the packet switching.

Currently one of the most researched wireless systems is that of the 3rd generation of mobile telephony using the interface Wideband CDMA. This technology has characteristics and functionality that go beyond those specified for systems 3G [PRAS98]. This study analyzes the performance of the aerial interface of the W-CDMA in that it examines traffic efficiency, considering the structures of the availability of physical traffic channels under diverse interferences. The obtained results offer subsidies to an evaluation of the performance of the W-CDMA and identify the factors that directly influence the throughput and channel bit error rate. This work also presents alternatives to overcome these factors and keeping the quality of service required for each type of service.

Sumário

Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Sumário	vii
Lista de Figuras	12
Lista de Tabelas	14
Lista de Gráficos	14
Capítulo 1 Introdução	16
1.1 Motivação.....	17
1.2 Contexto da Dissertação.....	20
1.3 Trabalhos Relacionados.....	22
1.4 Estrutura da Dissertação	23
Capítulo 2 Evolução das Redes de Telefonia Móvel	25
2.1 Introdução.....	26
2.2 A Evolução da Telefonia Móvel.....	27
2.2.1 Precusores de Primeira Geração da Telefonia Celular	28
2.2.2 Primeira Geração da Telefonia Celular – 1G	28
2.2.3 Segunda Geração da Telefonia Celular – 2G.....	30
2.2.4 Geração de Transição para a Terceira Geração – 2,5G/2G+	32
2.2.5 Terceira Geração da Telefonia Celular – 3G.....	33
Capítulo 3 Estado da Arte do Wideband CDMA	37
3.1 Introdução.....	38
3.2 Interface Aérea para a Terceira Geração.....	38
3.3 Redes 3G de Telefonia Móvel baseada em CDMA	39
3.4 Requisitos para Comutação de Pacotes em Redes 3G.....	41

3.5	Características do Método CDMA de Acesso Múltiplo a Interfaces Aéreas	42
3.5.1	Capacidade de Acesso Múltiplo a Interface Aérea	44
3.5.2	Técnicas de Modulação	44
3.5.3	<i>Spread Spectrum</i>	46
3.5.3.1	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>	46
3.5.3.2	Modulação <i>Spread Spectrum</i>	47
3.5.3.3	Um Exemplo de DSSS usando Modulação BPSK	48
3.5.4	Proteção Contra Interferência <i>Multipath</i>	51
3.5.5	Receptor RAKE	52
3.5.6	Controle de Potência	53
3.5.7	Rejeição a Interferência	55
3.6	Características do <i>Wideband</i> CDMA	56
3.6.1	Largura de Banda	56
3.6.2	Códigos de Expansão do Sinal	57
3.6.3	Taxa de <i>Chip</i>	59
3.6.4	Soluções para Expansão e Modulação	60
3.6.5	Taxa Múltipla	61
3.6.6	<i>Soft Handover</i>	63
3.6.7	<i>Handover</i> Interfrequências	65
3.6.7.1	Modo Segmentado	66
3.6.8	Detecção Multiusuário	67
3.6.9	Diversidade de Transmissão	68
3.6.10	Suporte a <i>Arrays</i> de Antenas Adaptáveis	69
3.6.11	Modo de Operação Assíncrono da Estação Base	70
3.6.11.1	Pesquisa de Células com Estações Base Assíncronas	70
3.6.11.2	<i>Soft Handover</i> com Estações Base Assíncronas	72
3.6.12	Detecção Coerente no <i>Uplink</i> e <i>Downlink</i>	72
3.6.13	Canal Piloto Adicional no <i>Downlink</i> para Direcionamento	72
3.6.14	Comutação de Pacotes	73
Capítulo 4	Arquitetura da Interface de Rádio do W- CDMA	75
4.1	Introdução	76
4.2	Visão Geral da Arquitetura do UMTS	77
4.3	Arquitetura da Camada Física	78

4.4	Parâmetros Básicos da Camada Física	80
4.4.1	Acesso Múltiplo a Interface Aérea.....	80
4.4.2	Acesso Randômico	82
4.4.3	Codificação do Canal e <i>Interleaving</i>	84
4.4.4	Modulação e Expansão.....	84
4.4.5	Procedimentos da Camada Física.....	87
4.4.6	Métricas Realizadas pela Camada Física	87
4.4.7	Serviços e Funções da Camada Física.....	88
4.4.8	Serviços Oferecidos às Camadas Superiores.....	89
4.4.8.1	Canais de Transporte.....	89
4.4.8.2	Codificação e Multiplexação do Canal de Transporte	93
4.5	Estrutura dos Canais Físicos	96
4.5.1	Sinais	96
4.5.2	Estrutura do <i>Frame</i>	96
4.5.3	Canais Físicos do <i>Uplink</i>	98
4.5.3.1	Canais Físicos de <i>Uplink</i> Dedicados	99
4.5.3.2	Canais Físicos de <i>Uplink</i> Comuns	103
4.5.4	Canais Físicos de <i>Downlink</i>	107
4.5.4.1	Canal Físico de <i>Downlink</i> Dedicado	107
4.5.4.2	Canais Físicos de <i>Downlink</i> Comuns	110
4.6	Serviços e Funções da Camada MAC/RLC.....	114
4.6.1	Serviços e Funções da Camada MAC	114
4.6.1.1	Serviços Oferecidos às Camadas Superiores.....	114
4.6.1.2	Funções da Camada MAC	116
4.6.2	Funções e Serviços da Subcamada RCL.....	117
4.6.2.1	Serviços Oferecidos às Camadas Superiores.....	117
4.6.2.2	Funções da Subcamada RLC.....	119
4.6.3	Serviços e Funções da <i>Packet Data Convergence Protocol</i>	119
4.6.3.1	Serviços PDCP Fornecidos as Camadas Superiores.....	120
4.6.3.2	Funções do PDCP.....	120
4.6.4	Serviços e Funções do <i>Broadcast/Multicast Control</i>	120
4.6.4.1	Serviços BMC	120
4.6.4.2	Funções da BMC.....	121
4.6.5	Fluxo de Dados através da Camada de Enlace de Dados.....	121

4.6.5.1 Fluxo de Dados	122
4.6.5.2 Modelos de Operação	123
Capítulo 5 Análise de Requisitos para Encaminhamento de Tráfego	127
5.1 Objetivos.....	128
5.2 Transporte de Informações sobre Canais de Rádio	129
5.2.1 Canais de Tráfego do UMTS/W-CDMA.....	129
5.2.2 Transmissão de Dados em Alta Velocidade	131
5.3 Estrutura da Simulação	132
5.3.1 Cenários	133
5.3.2 Classes de Serviço	135
5.3.3 Canal de <i>Fading</i>	136
5.3.4 E_b/N_o	137
5.4 Métricas	138
5.4.1.1 Taxa de Dados.....	138
5.4.1.2 BER.....	139
5.5 Técnicas de Avaliação.....	139
5.6 Parâmetros da Simulação	140
5.7 Simulação e Resultados	140
5.7.1 <i>Downlink</i>	141
5.7.1.1 Velocidade da Estação Móvel.....	142
5.7.1.2 Relação Sinal-Ruído (E_b/N_o).....	145
5.7.1.3 Número de Canais Concorrentes no <i>Downlink</i>	146
5.7.1.4 Fator de Expansão e Vazão.....	147
5.7.1.5 Considerações sobre a Performance dos Canais de <i>Downlink</i> 148	
5.7.2 <i>Uplink</i>	149
5.7.2.1 Velocidade da Estação Móvel.....	150
5.7.2.2 Relação Sinal-Ruído (E_b/N_o).....	151
5.7.2.3 Número de Estações Móveis Interferindo em uma Transmissão	152
5.7.2.4 Fator de Expansão e Vazão dos Dados no <i>Uplink</i>	153
5.7.2.5 Consideração sobre a Performance dos Canais de <i>Uplink</i>	154

Capítulo 6 Conclusões.....	155
6.1 Considerações Finais	156
6.2 Dificuldades Encontradas.....	156
6.3 Contribuições.....	157
6.4 Trabalhos Futuros.....	158
Capítulo 7 Referências Bibliográficas.....	160
7.1 Referências.....	161
7.2 Bibliografia	166
Apêndice A Tutorial da Ferramenta WCDMASim	169
Apêndice B Tabelas do ETSI para as Simulações dos Cenários	177
Apêndice C Gerações dos Sistemas de Telefonia Móvel	180

Lista de Figuras

Figura 2.1. Perspectivas da Internet Móvel em Milhões de Assinantes [ERIK00].....	26
Figura 2.2. Interfaces Terrestres de Rádio do IMT -2000 [CGD].....	35
Figura 2.3. Evolução dos Sistemas de Telefonia Móvel [CDG] [HONK02] [WEIS02].....	36
Figura 3.1. Multiplexação usuários com taxas de bits variáveis [DAHL98].....	42
Figura 3.2. Princípio do Método de Acesso Múltiplo <i>Spread Spectrum</i> [PRAS98].....	44
Figura 3.3. Classificação do CDMA [PRAS98].....	45
Figura 3.4. Sistema DSSS [STAL02].	47
Figura 3.5. Exemplo de Modulação DSSS [STAL02].	48
Figura 3.6. Geração de um Sinal SS com Modulação BPSK [PRAS98].	49
Figura 3.7. Receptor de um Sinal DSSS.....	50
Figura 3.8. Princípio do Receptor RAKE [PRAS98].....	52
Figura 3.9. Princípio do Controle de Potência de <i>Loop</i> Aberto [PRAS98].	55
Figura 3.10. Princípio do Controle de Potência de <i>Loop</i> Fechado [PRAS98].....	55
Figura 3.11. Rejeição a Interferência [PRAS98].	56
Figura 3.12. Árvore de Código para Geração de Códigos OVFS [DINA98].....	58
Figura 3.13. Relacionamento entre Taxa de <i>Chip</i> (CR), Fator de Roll-Off (α), e Separação do Canal (Δf) [OJAN98b].....	60
Figura 3.14. Esquema do Mecanismo de Expansão Complexa [OJAN98b].	61
Figura 3.15. Princípios da Multiplexação de Tempo e de Código [OJAN98b].	62
Figura 3.16. Princípio do <i>Soft-Handover</i> com Duas Estações Base [PRAS98].....	64
Figura 3.17. Estrutura Hierárquica de Células e Seus Cenários de Mobilidade [MORA00]...	65
Figura 3.18. <i>Handover</i> Inter-frequencias [DAHL98].	66
Figura 3.19. Transmissão no Modo Segmentado [DAHL98].	67
Figura 3.20. Estrutura do Sinal de Sincronização do W-CDMA [DAHL98].....	70
Figura 3.21. Pesquisa de Células em Três Etapas do W-CDMA [DAHL98].	71
Figura 3.22. Transmissão de Pacotes sobre um Canal Comum [PRAS98].	73
Figura 4.1. Arquitetura do UMTS [UMTS301].....	78
Figura 4.2. Arquitetura dos Protocolos da Interface de Rádio [HAAR00].	80
Figura 4.3. Utilização das Bandas de Freqüência com o W-CDMA [PRAS98].....	82

Figura 4.4. Estrutura de Acesso Randômico do W-CDMA [DAHL98].	83
Figura 4.5. Estrutura de Explosão de Acesso Randômico do W-CDMA [DAHAL98].	84
Figura 4.6. Expansão e Modulação do <i>Downlink</i> [DAHL98].	85
Figura 4.7. Expansão e Modulação do Canal de <i>Uplink</i> [DAHL98].	86
Figura 4.8. Codificação e Multiplexação de Canais de Transporte [DAHL98].	93
Figura 4.9. Exemplo de <i>Stream</i> de Bits do CC-TrCh [UMTS302].	94
Figura 4.10. Estrutura do <i>Frame</i> para o Canal Físico Dedicado de <i>Downlink</i> [DAHL98].	98
Figura 4.11. Estrutura do <i>Frame</i> para o Canal Físico Dedicado de <i>Uplink</i> [DAHL98].	98
Figura 4.12. Transmissão de Pulso com os Canais Multiplexados no Tempo [PRAS98].	100
Figura 4.13. Transmissão de Pulso com o Canal de Controle Multiplexado [UMTS112].	100
Figura 4.14. A Transmissão de Multitaxa do <i>Uplink</i> do W-CDMA [PRAS98].	101
Figura 4.15. Estrutura do <i>Frame</i> para o HS-DPCCH do <i>Uplink</i> [UMTS112].	103
Figura 4.16. Número de <i>Slots</i> de Acesso RACH e seus Espaçamentos [UMTS112].	104
Figura 4.17. Estrutura da Transmissão de Acesso Randômico [UMTS112].	104
Figura 4.18. Estrutura do <i>Frame</i> de Rádio de Acesso Randômico [UMTS112].	105
Figura 4.19. Estrutura da Transmissão de Acesso do CPCH [UMTS112].	106
Figura 4.20. Estrutura do <i>Frame</i> . Partes de Controle e Dados do <i>Uplink</i> Associados ao PCPCH [UMTS112].	106
Figura 4.21. Estrutura do <i>Frame</i> para o DPCH de <i>Downlink</i> [UMTS112].	107
Figura 4.22. Formato do <i>Slot</i> de <i>Downlink</i> para Transmissão Multicódigo [UMTS112].	109
Figura 4.23. Multiplexação do SCH (C_p =Código de Expansão Primário; C_s =Código de Expansão Secundário; C_{ch} =Código Ortogonal) [PRAS98].	112
Figura 4.24. Estrutura do Canal de Sincronização (SCH) [PRAS98].	112
Figura 4.25. Mapeamento de Canais de Transporte em Canais Físicos [UMTS112].	114
Figura 4.26. Estrutura do Canal Lógico [UMTS321].	115
Figura 4.27. Segmentação e Transformação das PDUs da Camada de Rede [DAHL98].	122
Figura 4.28. Transmissão de Pacotes sobre um Canal Comum (RACH) [DAHL98].	123
Figura 4.29. Transmissão de Pacotes sobre um Canal Dedicado (DCH) [DAHL98].	124
Figura 4.30. Transmissão de Pacotes sobre o Canal Dedicado [DAHL98].	125

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Parâmetros do AMPS [STAL02].	29
Tabela 2.2. Sistemas de Telefonia Celular de 2ª Geração [STAL02] [KAVE01].	31
Tabela 3.1. Parâmetros dos Sistemas W-CDMA e CDMA2000 [OJAN98b].	40
Tabela 3.2. Códigos de expansão em redes W-CDMA [STAL02].	58
Tabela 4.1. Formato dos Canais de Transporte para Alguns Serviços [DAHL98].	92
Tabela 4.2. Campos do DPDCH [UMTS211].	101
Tabela 4.3. Campos do DPCCH [UMTS112].	102
Tabela 4.4. Campos do HS-DPCCH [UMTS112].	103
Tabela 4.5. Campos do DPDCH e do DPCCH [UMTS112].	108
Tabela 5.1. Ambientes Operacionais do UMTS [UMTS112].	133
Tabela 5.2. Tipos de Serviços e Seus Requisitos [ZOU].	135
Tabela 5.3. Requisitos para Classes de Serviço do UMTS [MELI00].	136
Tabela 5.4. Taxas de Dados para cada Cenário.	142

Lista de Gráficos

Gráfico 5.1. Variação da BER em Relação à Velocidade com a Vazão de 1.92 Mbps Transmitida em cada Cenário.	143
Gráfico 5.2. Variação da BER em Relação à Velocidade com a Vazão de 240 kbps Transmitida em cada Cenário.	144
Gráfico 5.3. Variação da BER em Relação à Velocidade com a Vazão Específica de cada Cenário.	145
Gráfico 5.4. Variação da Eb/No em Relação a BER.	146
Gráfico 5.5. Aumento do Número de DPDCH no <i>Downlink</i> e a Influência na BER.	147

Gráfico 5.6. Relação entre Aumento do Fator de Expansão e a BER.....	148
Gráfico 5.7. Relação entre a Velocidade da Estação Móvel e a BER no <i>uplink</i>	150
Gráfico 5.8. Variação da E_b/N_o em Relação a BER no Uplink.	151
Gráfico 5.9. Relação entre o Número de EM Interferindo na Transmissão e a BER.	152
Gráfico 5.10. Relação entre Fator de Expansão, Vazão e a BER no <i>Uplink</i>	153

Capítulo 1.0

Introdução

Este capítulo apresenta uma breve introdução sobre o problema a ser analisado, a motivação para este estudo bem como os objetivos a serem alcançados, trabalhos relacionados e a estrutura da dissertação.

1.1 Motivação

Na história da evolução das redes, três diferentes forças têm constantemente guiado a evolução das arquiteturas e dos mecanismos implementados sobre as redes de telecomunicações: crescimento do tráfego, desenvolvimento de novos serviços e os avanços tecnológicos. Estas forças não são independentes umas das outras, mas cada uma modela a evolução de uma forma diferente. Conseqüentemente, o efeito da influência dessas forças é a necessidade de especificação e desenvolvimento de um conjunto de novos requisitos para que as novas arquiteturas correspondam às necessidades das novas aplicações.

Com o advento da Internet um novo impulso foi dado às forças que guiam a evolução das redes de telecomunicações ocasionando, portanto, um crescimento exponencial do tráfego de dados, o qual está em vias de superar o volume do tráfego de voz em todas as redes públicas, uma avalanche de novas aplicações e tecnologias para o suportar o desenvolvimento de outras aplicações mais inovadoras ainda, e, por último, os avanços tecnológicos que podem ser observados principalmente na área das tecnologias de redes sem fio (*wireless*).

Atualmente, um novo conceito veio ampliar ainda mais as perspectivas e o horizonte atual de possibilidades em termos de conectividade e de desenvolvimento de novas aplicações, além de ser requisito essencial para o desenvolvimento de uma nova classe de redes de telecomunicações que são os sistemas de comunicação *wireless* onipresentes. E o conceito ao qual estamos nos referindo é o de mobilidade, ou seja, é possível, praticamente de qualquer localidade, o acesso a recursos disponibilizados por uma rede de telecomunicações.

O crescente aumento na utilização da Internet e mais recentemente a concretização do conceito de mobilidade contribuíram para o surgimento de um novo paradigma que é o da Internet Móvel, cuja idéia é oferecer a mesma possibilidade de conectividade aos usuários como se estes estivessem conectados a Internet através de uma infra-estrutura de rede fixa. As perspectivas de implementação de todas essas novas tecnologias trazem consigo alguns problemas que implicarão no desenvolvimento de arquiteturas que ofereçam soluções simples e eficientes para suportar:

- Aumento substancial do tráfego de dados;
- Surgimento de novas aplicações que requerem conectividade independente da rede, e

- Requisitos em termos de vazão (*throughput*), atraso (*delay*) constante e baixas taxas de erros (BER).

Os serviços a serem implementados assim como *streaming* de áudio e vídeo, transferência de arquivos de imagem de alta qualidade e aplicações multimídia não encontram suporte em muitas tecnologias *wireless* por causa de suas limitadas larguras de banda e performances. No entanto, uma nova geração de redes *wireless* (denominada NextG), surge apresentando um novo conceito que envolve, incluindo possíveis inovações na arquitetura, alocação e utilização eficiente do espectro do rádio, flexibilidade para a implementação de novos serviços, além de integrar voz, dados e multimídia. Dessa forma, as tecnologias de rede de telefonia móvel surgem como uma alternativa viável para atender os novos requisitos que surgem e oferecer suporte ao desenvolvimento de serviços onipresentes e tornar o paradigma da Internet Móvel uma realidade.

A partir da segunda geração (2G) de sistemas de telefonia móvel, os quais na sua grande maioria são baseadas no método de acesso TDMA, algumas funcionalidades foram incorporadas à arquitetura com o objetivo de satisfazer os novos requisitos exigidos pelo novo modelo de comunicação *wireless* onipresente. Os principais sistemas 2G são o GSM (*Global System for Mobile Communications*), D-AMPS (*Digital AMPS* ou IS-136), PDC (*Personal Digital Cellular*), e o CDMA (*Code Division Multiple Access*) ou IS-95, este último baseado na tecnologia de acesso múltiplo por divisão de código.

Os sistemas 2G, originalmente, não ofereciam mecanismos para atender aos requisitos exigidos pelas novas aplicações, no entanto, através da incorporação de novas tecnologias a sistemas como IS-136 e principalmente ao GSM foi possível viabilizar o acesso a Internet e a implementação de uma série de novos serviços. As novas tecnologias incorporadas aos sistemas de segunda geração foram denominadas de sistemas 2,5G, embora tais tecnologias funcionem sobre sistemas como GSM e não de forma totalmente independentes. As duas tecnologias de geração 2,5G são o GPRS (*General Packet Radio Service*) e o EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*) que incorporadas aos sistemas de geração 2G deram aos mesmos a funcionalidade de prover acesso a Internet, por exemplo.

No entanto, mesmo com as novas funcionalidades agregadas, os sistemas de segunda geração enfrentam sérias limitações que os inviabilizam como tecnologias futuras para oferecer suporte a todas as necessidades emergentes a serem exigidas das redes de telefonia móvel. Uma das principais limitações das tecnologias 2G é que as mesmas são baseadas na comutação de circuitos e isso é um fator negativo no que diz respeito a flexibilidade na implementação de novos serviços. Além disso, as taxas de dados

disponibilizadas através das tecnologias 2G são muito modestas, estando na ordem de 115 kbps, e esse fator é uma séria restrição para a implementação de uma série de serviços que vão além do *download* de um simples e-mail.

As tecnologias de terceira geração (3G) foram especificadas e desenvolvidas para atender a todos os requisitos necessários para suportar eficientemente a implementação de sistemas de comunicação onipresente, Internet Móvel e integração entre voz, dados e multimídia. As redes 3G apresentam algumas diferenças essenciais no que diz respeito ao projeto da interface aérea em relação aos sistemas 2G e 2,5G. A interface aérea, além de utilizar uma largura de banda mais ampla, é baseada na comutação de pacotes e, portanto, foi projetada para suportar e oferecer total flexibilidade para a implementação de uma variedade de novos serviços baseados, principalmente, no protocolo *Internet Protocol* - IP.

O programa de padronização de interfaces aéreas IMT-2000, define cinco padrões de interfaces aéreas para sistemas 3G com o intuito de oferecer aos mais variados sistemas pertencentes às gerações antecessoras, a possibilidade de migrar e, conseqüentemente, evoluir gradualmente para algum dos padrões 3G especificados. Dentre os padrões especificados definidos pelo IMT-2000 dois se destacam, o CDMA2000 e o W-CDMA, devido principalmente as funcionalidades oferecidas e perspectivas de evolução. Veja a Figura 2.3.

Dessa forma, o padrão de interface aérea abordado por este trabalho de pesquisa é o W-CDMA (*Wideband CDMA*) ou CDMA de banda larga. O padrão W-CDMA foi escolhido pelo fato de ser a principal via de migração, em direção a terceira geração, para os mais difundidos sistemas 2G e 2,5G, dentre eles estão o GSM, IS-136, PDC, GPRS e o EDGE. Além disso, a interface aérea do W-CDMA (utilizada como método de acesso múltiplo para sistemas UMTS/ETSI) foi desenvolvida com requisitos que vão além dos requisitos especificados para as redes 3G pelo IMT-2000, e dentre as características notáveis do W-CDMA estão:

- Suporte ao tráfego de vários serviços com diferentes requisitos de QoS;
- Taxas de dados de pelo menos 144 kbps (384 kbps, preferencialmente), mas que podem alcançar, sob certas condições, taxas de dados da ordem de 2 Mbps;
- Suporte a *handover* inter-freqüências, o qual é necessário para manter uma estrutura de células hierárquicas de alta capacidade;
- Suporte a aplicação de novas tecnologias assim como antenas adaptativas e detecção multiusuário;
- Flexibilidade nos serviços embutidos, os quais oferece acesso e utilização eficiente do espectro para as atuais e futuras aplicações;

- Tratamento eficiente e sinalização para aplicações que requerem explosão de tráfego de dados, disponibilizados, através de um modo avançado de tráfego de pacotes, e
- Suporte eficiente para serviços multimídia suportados através do mecanismo de transferência de múltiplos serviços sobre uma mesma conexão.

No entanto, apesar de todas as vantagens apresentadas pelo W-CDMA, a performance do método de acesso a interface de rádio, no que diz respeito ao processo de encaminhamento de tráfego, é influenciada por diversos fatores. Alguns dos fatores que influenciam na performance do W-CDMA são: condições no ambiente externo no momento de uma transmissão de *frames*, velocidade da estação móvel, potência do sinal, quantidade e estrutura dos canais de tráfego, diversidade de transmissão e muitos outros.

Portanto, é necessária uma análise dos principais fatores e do relacionamento entre estes fatores que influenciam na performance do encaminhamento do tráfego sobre a interface de rádio do W-CDMA. Por conseguinte, devem ser estabelecidos parâmetros para garantir que as mais diversas classes de tráfego transmitidas via interface aérea sob determinadas condições, definidas pelo ETSI como cenários, tenham seus requisitos em termos de vazão e taxas de erros satisfeitos.

1.2 Contexto da Dissertação

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo analisar o modo como o W-CDMA encaminha o tráfego e os mecanismos utilizados pelo W-CDMA para transportar de forma eficiente as mais diversas classes de tráfego via interface aérea. O ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), órgão responsável pela padronização do UMTS, utiliza o W-CDMA como esquema de acesso múltiplo a interface de rádio, a qual está estruturada como um conjunto de canais de acesso que transportam informações de usuário, informações de controle e sinalização entre as camadas do UMTS¹.

Este trabalho de pesquisa está focado nas especificações das camadas física e de enlace de dados, as quais são responsáveis por todo o processo de encaminhamento do tráfego sobre a interface de rádio do UMTS. O padrão UMTS está estruturado sobre três camadas: física, enlace de dados e rede. Sendo que a camada de rede executa tarefas

¹ A interface de rádio do UMTS é normalmente referenciada como interface aérea do W-CDMA, por este último ser o método de acesso a interface de rádio do UMTS.

relacionadas à coordenação do funcionamento das camadas inferiores e sinalização de controle, além de contabilizar métricas informadas por estas camadas.

As camadas física e de enlace oferecem suporte para o transporte de informações e sinalização através de uma estrutura de canais de tráfego cujo funcionamento e finalidade de cada um dos canais, estão associados à camada em que estão definidos. Dentre todos os canais especificados nas camadas física e de enlace existem determinados canais, principalmente alguns canais da camada física, que influenciam diretamente na eficiência do transporte de informações.

No processo de transporte de informações através dos canais de tráfego de dados, o desempenho do W-CDMA pode ser seriamente afetado dependendo de alguns tipos de interferências determinadas pelas características do ambiente no momento da transmissão. As interferências exercidas pelo ambiente que está a nossa volta, tecnicamente denominado de cenário, influenciam diretamente na taxa de dados do canal, sendo que dependendo do nível de interferência exercida sobre os canais em um determinado instante a taxa de dados pode cair consideravelmente, para que o mínimo de qualidade na transmissão seja mantido, e a taxa de erros aumentar a níveis intoleráveis causando até mesmo a interrupção da transmissão.

Para avaliar a performance do W-CDMA quanto ao processo de encaminhamento de informações, o ETSI definiu ambientes de teste chamados de cenários que simulam as características dos ambientes reais, que exercerão influência direta sobre o processo de encaminhamento do tráfego sobre a interface aérea. Dessa forma, de acordo com os cenários de tráfego serão realizadas algumas simulações cujos resultados servirão de parâmetros para avaliar a performance do W-CDMA quanto ao processo de encaminhamento de tráfego e, por conseguinte, através de uma análise dos resultados obtidos identificar os fatores que exercem maior ou menor interferência no processo de transmissão e sugerir soluções para melhorar a performance do W-CDMA, no que diz respeito a aumentar a vazão e diminuir a taxa de erros.

Conseqüentemente, o estudo desenvolvido por este trabalho de pesquisa visa apresentar as características do Estado da Arte do W-CDMA, além de abordar com detalhes a organização e o mecanismo de funcionamento das camadas física e de enlace de dados, como também os aspectos essenciais relacionados ao projeto da interface aérea do W-CDMA, onde todos estes conhecimentos serão necessários para o perfeito entendimento da proposta deste trabalho e para a construção de uma visão crítica a cerca do problema sugerido e das soluções apresentadas.

Portanto, a proposta deste trabalho de pesquisa é demonstrar a real performance da interface aérea do W-CDMA quando o mesmo for submetido às condições simuladas, muito próximas de um ambiente real, e como os fatores que interferem diretamente no processo de transporte eficiente de informações podem ser combatidos e, conseqüentemente, as taxas de dados maximizadas e os erros minimizados.

1.3 Trabalhos Relacionados

Os trabalhos relacionados ao estudo desenvolvido através deste trabalho de pesquisa estão descritos a seguir:

- **[MALO98]**: Descreve de forma muito sucinta o W-CDMA abordando alguns dos seus aspectos técnicos. A camada física também é abordada onde alguns dos parâmetros relacionados à interface aérea são destacados e os canais DPDCH e DPCCH são descritos e relacionados aos processos de codificação de canais e multiplexação. E por conseguinte, é realizada uma breve análise sobre serviços multimídia e o nível de QoS requerido pelos mesmos com um enfoque direcionado ao processo de *handover*.
- **[MEL100]**: Avalia a performance do canal de rádio do W-CDMA através da simulação dos canais de *downlink* e *uplink*. Neste artigo a performance é avaliada em termos de eficiência de encaminhamento das classes de tráfego definidas pelo ETSI onde, também, é focado o impacto do controle de potência dinâmico no processo de encaminhamento de tráfego.
- **[MELIS]**: Utilizando os parâmetros descritos em [UMTS112] este artigo avalia a performance do W-CDMA na transmissão de vídeo compactado com o padrão MPEG-4. As simulações abordam o tráfego sobre os canais de *downlink* e *uplink* fornecendo resultados como padrão de erros, *Packet Error Rate* (PER) e atraso acumulado entre as camadas de aplicação de ambos os lados da comunicação.
- **[MILSOO]**: Um artigo que na verdade é um grande guia para o estudo do W-CDMA. Apresenta um resumo sobre alguns dos mais importantes aspectos relacionado à tecnologia de acesso múltiplo W-CDMA bem como indicações para diversos artigos que abordam os respectivos assuntos descritos através deste *paper*. Diversas considerações são feitas sobre encaminhamento de tráfego sobre a interface aérea do W-CDMA e sobre o tráfego de pacotes em

sistemas celulares, embora, não existam simulações e avaliações, baseadas em gráficos, sobre o processo de encaminhamento de tráfego.

Embora todos os artigos acima estejam relacionados ao encaminhamento de tráfego de diversas classes, inclusive multimídia, sobre a interface aérea do W-CDMA somente um [MELI00] avalia a performance do W-CDMA sobre cada um dos cenários concomitantemente, no entanto, seu enfoque está restrito basicamente ao impacto da velocidade da estação móvel na transmissão de diferentes classes de tráfego e, conseqüentemente, na taxa de erros relacionada à variação da velocidade da estação móvel.

1.4 Estrutura da Dissertação

A estrutura deste trabalho de dissertação está organizada da seguinte forma:

- **Capítulo 1 - Introdução**

Descreve o contexto da dissertação apresentando a motivação para o desenvolvimento desta pesquisa, os trabalhos relacionados com o contexto desse estudo e a estrutura da dissertação.

- **Capítulo 2 – Evolução das Redes de Telefonia Móvel**

Apresenta um breve resumo a respeito da evolução dos sistemas de telefonia móvel, abordando os principais sistemas representantes de cada uma das gerações, além de apresentar perspectivas para a evolução dos atuais sistemas para uma 4ª geração de sistemas de telefonia móvel.

- **Capítulo 3 – Estado da Arte do *Wideband* CDMA**

Neste capítulo as principais características referentes ao método de acesso múltiplo CDMA e as novas características e funcionalidades incorporadas ao CDMA que o tornarão um sistema de altíssima largura de banda (W-CDMA) são abordadas, bem como os novos mecanismos desenvolvidos para o W-CDMA com o objetivo de maximizar a performance da interface aérea. Também são descritas neste capítulo as principais e mais modernas técnicas de modulação e o processo de expansão do espectro do sinal através de uma portadora de alta largura de banda.

- **Capítulo 4 – Arquitetura da Interface de Rádio do W-CDMA**

Este capítulo descreve a estrutura da interface de rádio do UMTS definida através das camadas física, enlace de dados e de rede. A descrição detalha o funcionamento das duas camadas inferiores (física e enlace), a estrutura de canais de tráfego e os mecanismos implementados nestas camadas para oferecer suporte

ao processo de encaminhamento eficiente de tráfego através dos canais lógicos, de transporte e físicos.

- **Capítulo 5 – Análise de Requisitos para o Encaminhamento de Tráfego**

As simulações para análise e definição dos requisitos para o encaminhamento eficiente de tráfego via interface de rádio do W-CDMA têm seus resultados apresentados neste capítulo. Cada gráfico demonstra o comportamento da taxa de erros e vazão dos dados quando diversos fatores relacionados ao desempenho do W-CDMA variam.

- **Capítulo 6 – Conclusões**

As considerações finais sobre o estudo desenvolvido neste trabalho de pesquisa bem como as dificuldades encontradas, contribuições e sugestões para trabalhos futuros a serem realizados expandindo esta dissertação são apresentadas neste capítulo.

- **Capítulo 7 – Referências Bibliográficas**

Referências bibliográficas utilizadas nesta dissertação e a bibliografia recomendada para o aprofundamento dos diversos aspectos abordados por este estudo.

- **Apêndice A – Ferramenta de Simulação da Interface Aérea do W-CDMA – WCDMASim**

Este apêndice apresenta um breve tutorial sobre a ferramenta de simulação utilizada onde são abordados aspectos como a sua estrutura, mecanismo de funcionamento e otimizações realizadas neste trabalho de pesquisa.

- **Apêndice B – Tabelas do ETSI para as Simulações dos Cenários**

Em qualquer ferramenta de simulação de canais W-CDMA, os diversos cenários ou ambientes, sobre os quais o tráfego de diferentes classes pode ser transmitido, devem ser configurados utilizando as tabelas fornecidas pelo ETSI para caracterização dos ambientes de propagação.

- **Apêndice C – Gerações dos Sistemas de Telefonia Móvel**

Finalizando este trabalho, um resumo sobre a evolução dos sistemas de telefonia móvel é apresentado abordando aspectos importantes sobre cada um dos sistemas pesquisados.

Capítulo 2.0

Evolução das Redes de Telefonia Móvel

Este capítulo apresenta um breve histórico sobre a evolução das redes de telefonia móvel abordando algumas características dos principais sistemas de telefonia móvel, relacionando-os a cada uma das gerações e finalizando com a apresentação da via de migração destes sistemas em direção aos sistemas de terceira geração.

2.1 Introdução

Atualmente, devido a um aumento exponencial no tráfego de dados, o volume acumulado deste tráfego está em vias de sobrepujar o volume acumulado do tráfego de voz em todas as redes públicas. O crescimento pelo qual passa as áreas de tráfego de dados e voz sobre redes *wireless* (veja Figura 2.1) mostra claramente, que a combinação da comunicação móvel e acesso a Internet constituem uma nova realidade tanto em relação ao acesso a Internet como em relação à mobilidade. Portanto, a evolução dos sistemas de telefonia móvel objetiva fornecer aos seus usuários o mesmo acesso a Internet, que os usuários têm quando estão conectados a mesma através de uma infraestrutura de rede fixa. Juntamente com a nova perspectiva de telecomunicações onipresente, que surgiu no final do século 20, desenha-se um novo paradigma que é o da Internet Móvel.

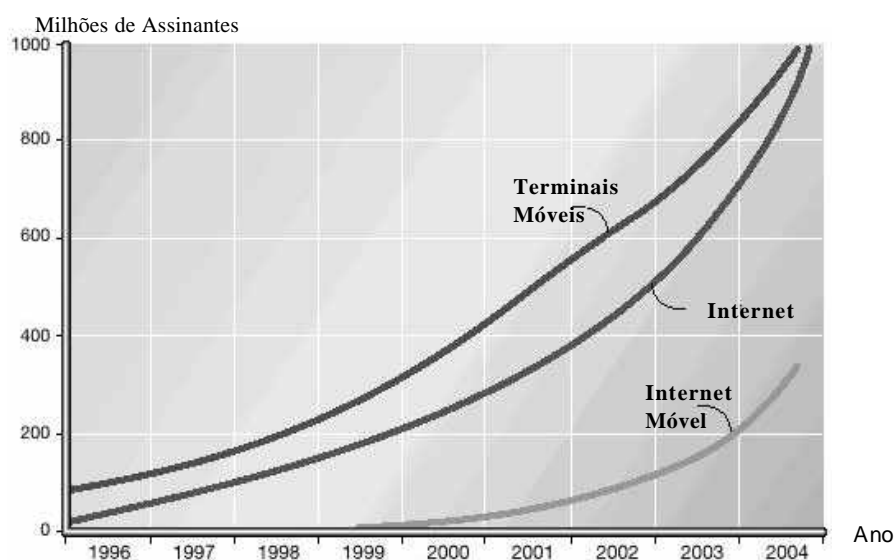


Figura 2.1. Perspectivas da Internet Móvel em Milhões de Assinantes [ERIK00].

Os sistemas de telefonia móvel de 2ª geração, tais como GSM, PDC, IS-136, cdmaOne (IS-95A), são baseados em um ambiente de comutação de circuitos e precisão do auxílio de novas tecnologias para que o acesso a Internet seja viável, e isso acaba limitando a flexibilidade na implementação de novos serviços principalmente aqueles baseados em aplicações IP.

No entanto, os sistemas de telefonia móvel de 3ª geração oferecerão acesso a Internet com total flexibilidade para implementação de serviços através da utilização do

protocolo IP como solução para o transporte de informações entre aplicações fim-a-fim, pois as futuras redes móveis serão baseadas na tecnologia de comutação de pacotes.

A adoção de um novo padrão de comutação, baseado na comutação de pacotes a partir da 3ª geração de redes de telefonia móvel, viabilizará a implementação de novas aplicações e de todo um ambiente que ofereça suporte a estas aplicações. Dessa forma, os sistemas de telefonia móvel de 3ª geração deverão satisfazer os requisitos exigidos pelas aplicações que não de tempo real (*non real time*), que requerem baixas taxas de erros, e os exigidos pelas aplicações de tempo real (*real time*) que requerem, além do atraso constante, taxas de dados relativamente altas. Portanto, a necessidade de satisfazer tais requisitos introduz novos desafios na especificação de uma nova interface aérea quando o objetivo é viabilizar de forma eficiente o tráfego de dados sobre esta interface.

2.2 A Evolução da Telefonia Móvel

Na última década o desenvolvimento das comunicações via redes sem fio foi bastante significativo. Nos anos 80, vários sistemas de telefonia móvel foram implementados mas suas redes já alcançaram os limites da capacidade em diversas áreas de serviço. Contudo, a indústria antecipando-se a essas limitações, no início dos anos 90, procurou introduzir as tecnologias digitais para melhorar a utilização eficiente do espectro, e as comunicações *wireless* através da incorporação de características e serviços atrativos e inovadores tais como fax, transmissão de dados e muitos outros.

Assim, a tecnologia de comunicações móveis *wireless* desenvolveu-se a partir de simples sistemas analógicos de 1ª geração, voltados para aplicações comerciais, em direção a sistemas digitais de 2ª geração com modernas características e serviços para os ambientes residencial e comercial. Com a chegada de um novo século, uma nova visão de telecomunicações onipresente para as pessoas está surgindo. Esta visão é conhecida como Sistema de Comunicação Pessoal (PCS), o qual através de um sistema de telefonia móvel disponibilizará serviços de telecomunicações (voz, dados, vídeo e vários outros) sem restrições no terminal do usuário [IECd]. Portanto, está claro que as redes PCS são um desafio para o futuro.

Existem diversas razões para a transição da tecnologia *wireless* analógica para a digital: aumento do tráfego causado pelo crescimento explosivo no número de assinantes requerendo grande capacidade de processamento de chamadas; privacidade de diálogo (a tecnologia digital facilita a criptografia); novos serviços (a tecnologia digital permite que serviços de tráfego de voz sejam combinados com outros serviços); e maior qualidade na

comunicação (com a tecnologia digital, técnicas melhores de codificação podem ser usadas e oferecer uma transmissão mais robusta).

Diversas tecnologias digitais estão competindo para predominar no mercado de telefonia móvel, cada uma tentando estabelecer seu padrão para as futuras gerações. Dentre estas tecnologias estão o sistema celular digital dos Estados Unidos o TDMA (*Time Division Multiple Access*), o GSM (*Global System for Mobile Communication*) que também usa o TDMA mas com um padrão diferente de acesso a interface aérea, o CDMA (*Code-Division Multiple Access*), o W-CDMA ou CDMA de banda larga, e diversos outros sistemas TDMA e combinações de técnicas de acesso como TDMA e CDMA (TD-CDMA).

2.2.1 Precusores de Primeira Geração da Telefonia Celular

Em 1946 surge o precursor dos sistemas celulares atuais o MTS (*Mobile Telephone Service*) que foi o primeiro sistema celular público comercial. O sistema utilizava um único transmissor de alta potência em uma localização bastante elevada (o topo de um edifício, por exemplo) e tinha um único canal utilizado para transmissões e recepções. O MTS tinha sua faixa de frequência alocada na banda de 150 MHz licenciada pelo FCC (*Federal Communication Commission*). Devido à existência de um canal único, os usuários móveis podiam se ouvir e para conversar o usuário apertava um botão para ativar o transmissor e desativar o receptor, dessa forma, tais sistemas eram conhecidos como “aperte o botão para falar”.

Nos anos 60, surgiu o IMTS (*Improved Mobile Telephone Service*) que utilizava a mesma ideia básica do MTS quanto à antena transmissora, mas agora dispunha de duas frequências uma para transmissão outra para recepção, e isso tornou o botão “aperte para falar” desnecessário. O IMTS suportava 23 canais espalhados pelas frequências de 150 e 450 MHz. Devido ao pequeno número de canais e a extensão das células, os usuários móveis acabavam esperando muito tempo para ter acesso ao sistema, ou seja, para obter o tom de discagem. Devido a alta potência dos transmissores (cerca de 200 Watts) as células eram muito extensas, portanto as células adjacentes deveriam estar a quilômetros de distância para evitar interferência [TANE96].

2.2.2 Primeira Geração da Telefonia Celular – 1G

Nos primeiros anos da década de 80 surgiu o sistema de telefonia celular mais moderno até então projetado, o AMPS (*Advanced Mobile Telephone Service*). Desenvolvido

pela AT&T tornou-se um marco para a primeira geração de telefonia celular. A primeira geração de telefones celulares utilizava técnicas de modulação de frequência (FM) fornecendo canais de tráfego analógicos, onde mensagens de voz eram transmitidas como ondas sonoras, ou seja, quando alguém falava em um telefone celular analógico uma onda de voz era modulada em uma onda de rádio e só então transmitida. Os telefones celulares de 1ª geração operavam na faixa de frequências de 800 MHz licenciada pelo FCC em 1983, e os canais possuíam largura de banda de apenas 30 kHz onde a técnica de acesso a esses canais era a FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Os principais parâmetros do AMPS estão na Tabela 2.1. Outros importantes sistemas celulares de 1ª geração são:

- **TACS (*Total Access Celullar System*)**

Sistema utilizado principalmente na Europa e China, semelhante ao AMPS, mas dependendo do país recebia nomes diferentes. Na Inglaterra era conhecido como E-TACS (Enhanced TACS) e no Japão existia também um sistema similar conhecido como JTACS (Japan TACS) ou NTACS (Nippon TACS). Posteriormente as bandas do TACS foram alocadas para o GSM [KAVE01].

- **NMT (*Nordic Mobile Telephone System*)**

O NMT também era conhecido como NMT-900, pois operava na banda de 900 MHz para diferenciá-lo do NTM-450 que, por conseguinte, operava na banda de 450 Mhz [KAVE01]. Foi o sistema de telefonia celular implementado nos países Nórdicos e alguns países da África.

Outros sistemas pertencentes a primeira geração de celulares são o C-450 (Portugal e Alemanha), RMTS (Itália), Radiocom 2000 (França) e NTT (Japão).

Parâmetro	Atributo
Banda de transmissão da estação base	869 a 894 MHz
Banda de transmissão da estação móvel	824 a 849 MHz
Espaço entre os canais <i>downlink</i> e <i>uplink</i>	45 MHz
Largura de banda do canal	30 kHz
Número de canais de voz <i>full-duplex</i>	790
Número de canais de controle <i>full-duplex</i>	42
Potência máxima na estação móvel	3 watts
Tamanho da célula (raio)	2 a 20 km
Modulação, canal de voz	FM, 12 kHz de desvio de pico
Modulação, canal de controle	FSK, 8 kHz de desvio de pico
Taxa de transmissão de dados	10 kbps
Codificação de controle de erros	BCH (48, e 36,5) e (40 e 28,5)

Tabela 2.1. Parâmetros do AMPS [STAL02].

2.2.3 Segunda Geração da Telefonia Celular – 2G

O rápido crescimento do número de assinantes e a proliferação de vários sistemas de 1ª geração incompatíveis foram as principais razões por trás da evolução em direção a segunda geração. Além disso, outras necessidades de mercado contribuíram para a migração das tecnologias analógicas da 1ª geração, com seu potencial já saturado, para a tecnologia digital da 2ª geração viabilizando, dessa forma, a implementação de novos serviços, assim como a privacidade de diálogo, *links* de rádio mais robustos, serviços de transmissão de dados a taxas baixas e médias e a utilização de técnicas de compressão e codificação de dados, sendo que tais técnicas estão diretamente associadas a tecnologia digital.

Todos os sistemas de 2ª geração empregam esquemas de modulação digital. As técnicas de acesso múltiplo a interface aérea assim como TDMA e CDMA são utilizadas juntamente com o FDMA em um esquema onde o FDMA segmenta a largura de banda disponível em canais de acesso. Em cada canal as técnicas de multiplexação TDMA ou CDMA viabilizam o acesso múltiplo de várias estações (origens de voz/dados) a cada um deles. Na Tabela 2.2 estão descritos os parâmetros centrais dos principais sistemas de segunda geração.

Os principais sistemas de telefonia celular de 2ª geração e algumas de suas características são [EPHONE] [STAL02] [WEIS02]:

- **GSM (*Global System for Mobile Communication*)**

Surgiu em 1990 na Europa como um dos principais sistemas de telefonia celular de 2ª geração operando na faixa de frequência de 900 MHz, embora atualmente também opere nas faixas de 1800 e 1900 MHz, sendo que nas bandas de 1800 e 1900 é mais conhecido como DCS1800 e PCS1900. O GSM combina as técnicas de acesso múltiplo FDMA e TDMA. É o precursor de tecnologias como o GPRS (*General Packet Radio Service*) e o EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) que viabilizaram a implementação de serviços de comutação de pacotes sobre o GSM oferecendo taxas de dados de pelo menos 144 kbps.

- **IS-95**

Sistema padronizado nos EUA pelo EIA/TIA que utiliza a banda de 800 MHz e esquema de acesso múltiplo CDMA, onde o mesmo disponibiliza toda a largura de banda do canal para as estações, ou seja, a largura de banda não é segmentada em canais de acesso, portanto, só existe um canal de *downlink* e outro de *uplink* para todas as estações.

O IS-95 possui um versão para a banda PCS (*Personal Communication System*) chamada de JSTD-008 padronizado pelo ANSI. O IS-95 foi revisado em 1995 e após essa revisão passou a ser conhecido como IS-95A e que, por conseguinte, foi sucedido pelas versões IS-95B e IS-95C, respectivamente.

As versões IS-95 e IS-95A também são conhecidas como cdmaOne (marca pertencente ao CDG). A versão IS-95B também opera na banda PCS (1900 MHz) tendo sido implementada no Japão, Coreia e Peru e é um padrão que mescla características dos padrões IS-95A, JSTD-008 e TSB74. E, por último, a versão IS-95C corresponde ao CDMA2000 ou *wideband* cdmaOne (CDMA de banda larga), padrão de 3ª geração pertencente ao programa de padronização do IMT-2000 (denominação das redes 3G pelo ITU).

- **IS-136/TDMA**

Juntamente com os dois anteriores, fecha o grupo das três tecnologias de maior projeção na 2ª geração de telefones celulares. O IS-136 utiliza o TDMA como método de acesso e opera na faixa de 800 MHz. Utilizado principalmente nos EUA e América do Sul, onde também é conhecido como DAMPS (Digital AMPS), foi precedido nos EUA pelo padrão IS-54/TDMA.

	GSM	IS-136	IS-95
Ano de operação	1990	1991	1993
Método de acesso	TDMA/FDD	TDMA/FDD	CDMA/FDD
Banda de transmissão estação base	935 a 960 MHz	869 a 894 MHz	869 a 894 MHz
Banda de transmissão estação móvel	890 a 915 MHz	824 a 849 MHz	824 a 849 MHz
Espaço entre os canais downlink-uplink	45 MHz	45 MHz	45 MHz
Largura de banda do canal	200 kHz	30 kHz	1250 kHz
Número de canais <i>duplex</i>	125	832	20
Potência máxima da estação móvel	20 W	3 W	0.2 W
Usuários por canal	8	3	35
Modulação	GMSK	$\Pi/4$ DQPSK	SQPSK/QPSK
Taxa de bit da portadora	270,8 kbps	48,6 kbps	9,6 kbps
Codificador de diálogo	RPE-LTP	VSELP	QCELP
Taxa de bit do codificador de diálogo	13 kbps	8 kbps	8, 4, 2, 1 kbps
Tamanho do <i>frame</i>	4,615 ms	40 ms	20 ms
Codificação de controle de erro	Convolutacional taxa 1/2	Convolutacional taxa 1/2	Convolutacional 1/2 no direto e 1/3 no reverso

Tabela 2.2. Sistemas de Telefonia Celular de 2ª Geração [STAL02] [KAVE01].

- **CDPD (*Cellular Digital Packet Data*)**

Viabilizou o tráfego de dados em cima de sistemas analógicos como o AMPS, onde o CDPD utiliza os períodos de silêncio de um diálogo em um determinado canal

para transmitir o tráfego de pacotes de dados. Desenvolvido com base no AMPS e compatível com o padrão IS-41 segue exatamente o modelo OSI e compartilha as bandas e a infraestrutura do AMPS funcionando em conjunto com o mesmo [TANE96], embora, outros serviços de dados para sistemas móveis tais como ARDIS, Mobitex e o TETRA (*Terrestrial European Trunked Radio*) utilizem suas próprias bandas de frequência. Existem ainda o GPRS que compartilha totalmente o sistema de rádio com o GSM e o Metricom que usa bandas ISM não licenciadas [KAVE01].

- **PDC (*Pacific Digital Cellular*)**

Desenvolvido pela NTT DoCoMo no Japão e operando na faixa de frequência de 800 MHz utiliza uma combinação de FDMA e TDMA. Inicialmente conhecido como JDC (*Japan Digital Cellular*), em 1999 a DoCoMo implementa o PDC-P (*PDC Mobile Packet Data Communication System*) incorporando a comutação de pacotes ao PDC.

Outros sistemas de segunda geração de celulares são o CT-2 (Europa e Canadá), DECT (Europa), PHS (Japão) e PACS (EUA) [KAVE01].

2.2.4 Geração de Transição para a Terceira Geração – 2,5G/2G+

As redes de telefonia celular existentes são digitais e suportam comunicações de voz a uma taxa baixa de bit na ordem de 9,6 a 32 kbps, o que não é o suficiente para muitas necessidades emergentes. Alimentadas pelo crescimento explosivo da Internet, as aplicações necessitam de alta capacidade, taxas de dados maiores e serviços multimídia avançados, onde todas estas necessidades devem ser suportadas em um futuro próximo. A evolução em direção a taxas de dados mais altas e serviços mais avançados ocorre em dois passos. O primeiro passo é o surgimento dos sistemas 2G+ nos quais os sistemas de 2ª geração assim como o GSM, IS-95A (DS-SS) e, também o IS-136 serão estendidos para que possam fornecer comunicação de dados em taxas de bit melhores sem que os mesmos necessitem modificar a interface aérea ou usar técnicas de codificação aperfeiçoadas. O segundo passo é fornecer melhores taxas de dados e serviços multimídia.

O princípio da transmissão de pacotes de rádio consiste em converter pacotes de dados em blocos de rádio para enviá-los sobre o caminho de rádio. Um pacote é uma unidade de dado, composta de uma mensagem de dado e da informação de controle, a

qual informa a identificação da origem e o do destino assim como informações para recuperação de erros.

Quando um dado está sendo transmitido, a camada de rede transfere pacotes de dados para os protocolos de rádio. Então, o dado encapsulado é segmentado e mapeado em blocos de rádio. Onde um bloco de rádio é uma seqüência de quatro explosões de tráfego prontas para serem transmitidas pela camada física sobre a interface aérea (no EDGE, por exemplo, é assim) [NOËL01].

Existem três padrões para o modo de pacotes pertencentes à geração 2G+, onde dois são baseados no método de acesso TDMA utilizado pelo GSM e IS-136, GPRS e EDGE, e o terceiro é baseado no CDMA que representa a base do padrão IS-95. O GPRS (*General Packet Radio Service*) e o EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*) representam uma extensão para um modo de pacotes para os sistemas TDMA citados [LIND00] [BETT99]. O EDGE, também conhecido como EGPRS ou EGPRS-136, aprimorou os serviços de dados circuito-comutados para serviços de comutação de pacotes através da implementação de novas técnicas de modulação de alto nível.

O terceiro padrão, baseado no CDMA, é o IS-95B, compatível com o IS-95A, o qual é um versão do modo de pacotes para o IS-95 (DS-SS-SS). No TDMA a alta capacidade de transmissão é alcançada através da implementação de um novo canal físico conhecido como *52-multiframe* (modo *multislot*) e em sistemas baseados no CDMA através da utilização de múltiplos códigos [CDG].

O padrão EDGE foi, ainda, incluído na proposta do programa IMT-2000 do ITU, para padronização de redes celulares de 3ª geração, mais especificamente para os padrões UWC-136 (IMT-SC) e W-CDMA (IMT-DS).

2.2.5 Terceira Geração da Telefonia Celular – 3G

Desde o início dos anos 80 quando começou a era do celular móvel as comunicações móveis tem experimentado um enorme crescimento durante os últimos anos. A cada nova geração, novas tecnologias surgem com o objetivo de atender as necessidades emergentes. Novos serviços e inovações, em particular a multimídia de banda larga, serão a base que impulsionará a implantação dos sistemas de 3ª geração.

O ITU (*International Telecommunication Union*) criou o programa IMT (*International Mobile Telecommunications*) para o ano 2000, o IMT-2000, inicialmente chamado de FPLMTS (*Future Public Land for Mobile Telephone Service*) [LINO98]

[PRAS98], com o objetivo de coordenar a padronização de interfaces de rádio para os sistemas de 3ª geração.

A Figura 2.2 mostra os esquemas alternativos que foram adotados como parte do programa de padronização do IMT-2000. A maior razão para a adoção de cinco alternativas de interfaces de rádio é devido à necessidade de oferecer uma possibilidade de evolução gradual para os sistemas de 1ª e 2ª geração. Dessa forma, a especificação aborda um conjunto de interfaces de rádio onde uma das funções é otimizar a sua performance em diferentes ambientes de rádio.

As interfaces aéreas definidas pelo programa IMT-2000 devem estar aptas a lidar com diferentes requisitos de qualidade de serviço (proporção de erros em bits, atraso e *jitter*), ou seja, suportar serviços multimídia com largura de banda sob demanda. Um eficiente protocolo de acesso para o modo de pacotes é essencial para viabilizar a transferência de explosões de tráfego de dados *real-time* e não *real-time*.

Embora coordenadas pelo programa IMT-2000, as cinco especificações evoluem paralelamente em diferentes regiões do mundo [DAHL98] [OJAN98a], onde duas das especificações estão sendo trabalhadas pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), que desenvolve o UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) padrão Europeu para redes *wireless* de 3ª geração. O UMTS engloba dois padrões para interfaces de rádio, onde um é conhecido como *wideband* CDMA ou W-CDMA (IMT-DS) o qual é resultado da combinação de dois padrões o FRAMES FMA 2 (ETSI/Europa) e o CORE-A (ARIB/Japão), onde o *uplink* é baseado no FMA 2 e o *downlink* é baseado no CORE-A. E o outro é conhecido como TD-CDMA (IMT-TC), o qual é uma combinação das tecnologias TDMA e CDMA. O principal objetivo do IMT-TC é fornecer uma via de migração, em direção as futuras redes UMTS, para os sistemas GSM, baseados em TDMA.

Um outro padrão baseado no CDMA, conhecido como cdma2000 ou IS-95C (IMT-MC), está sendo desenvolvido pelo TIA nos EUA. Embora seja similar ao W-CDMA, os dois são incompatíveis, pois usam diferentes taxas de chips e o cdma2000 usa uma técnica conhecida como multiportadora não utilizada pelo W-CDMA. As duas outras interfaces são a interface IMT-SC também conhecida como UWC-136 e que está sendo definida pelo UWCC (*Universal Wireless Communication Consortium*).

A IMT-SC primeiramente desenvolvida como via de migração para redes somente TDMA teve o padrão EDGE incorporado a sua especificação. E, por fim, o padrão IMT-FT, que é um melhoramento do padrão DECT, pode ser usado por ambas as redes TDMA e FDMA para fornecer alguns serviços de 3ª geração para as mesmas. Apesar de existirem

cinco padrões para interfaces de rádio, muito da atenção e esforços do mercado estão concentrados nos padrões CDMA.

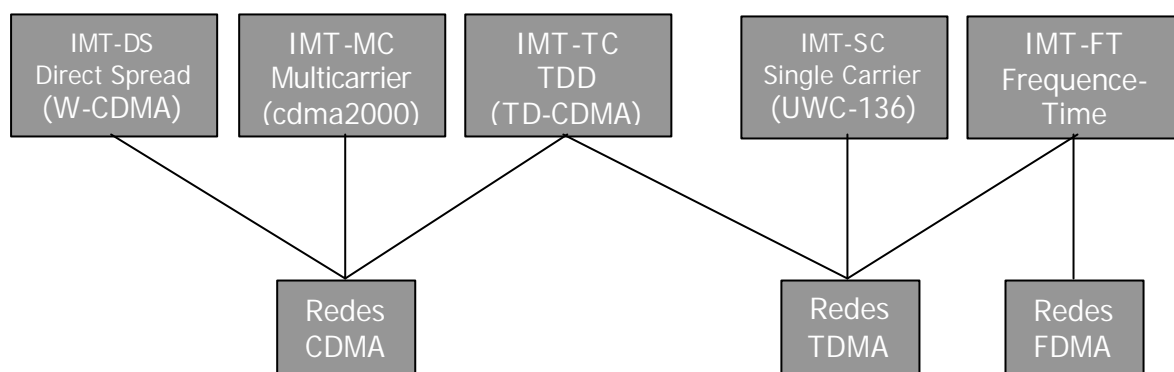


Figura 2.2. Interfaces Terrestres de Rádio do IMT-2000 [CGD].

Existe um outro órgão envolvido no processo de padronização para redes de 3ª geração que é o 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) cujos esforços estão concentrados na definição do segmento terrestre para os sistemas UMTS (*UMTS Terrestrial Radio Access - UTRA*), baseados em duas diferentes interfaces aéreas o W-CDMA e o TD-CDMA. As redes de 3ª geração além de suportar uma extensa variedade de serviços sob as mais variadas condições de rádio devem oferecer serviços com altas taxas de dados, pelo menos 144 kbps (preferencialmente 384 kbps) para usuários em alta mobilidade em uma vasta área de cobertura e 2 Mbps para usuários em baixa mobilidade em uma área de cobertura mais restrita.

Segundo o ITU os sistemas de 3ª geração devem ter as seguintes características:[MELI00] [OJAN98a] [WEIS02]:

- Compatibilidade retroativa em relação aos sistemas de 2ª geração;
- Qualidade de voz comparável a da rede pública de telefones;
- Taxas simétricas e assimétricas para transmissão de dados;
- Transmissão e recepção de vídeo "full motion" em tempo real;
- Suportar ambos os serviços de comutação de circuitos e de pacotes;
- Acesso universal sem fio a Internet com a qualidade do ISDN;
- Uso mais eficiente do espectro disponível;
- Suportar uma ampla variedade de equipamentos móveis;
- Flexibilidade, sem aumentar a complexidade da rede e dos terminais, para permitir a introdução de novos serviços e tecnologias, e

- Viabilizar o roaming com outras redes que implementem as recomendações do programa IMT-2000.

Em linhas gerais, todos os objetivos e características, inerentes às redes de 3ª geração atendem a todos os requisitos necessários para a evolução em direção a uma tecnologia de comunicação moderna, uma espécie de rede de telecomunicações pessoal universal com acesso fácil a qualquer recurso ou sistema de comunicação disponibilizado em um país, continente ou até mesmo globalmente, através de uma simples conta de acesso. Os usuários devem ser capazes de utilizar o seu terminal em uma extensa variedade de ambientes onde seja possível conectar-se a sistemas de informação para trabalhar igualmente bem em escritórios, na rua e em aviões. Todos estes aspectos são possíveis graças a crescente evolução das redes de telefonia celular e esforços dos órgãos de padronização em estabelecer padrões cada vez mais robustos e compatíveis entre si. A Figura 2.3 mostra a evolução dos sistemas de telefonia móvel.

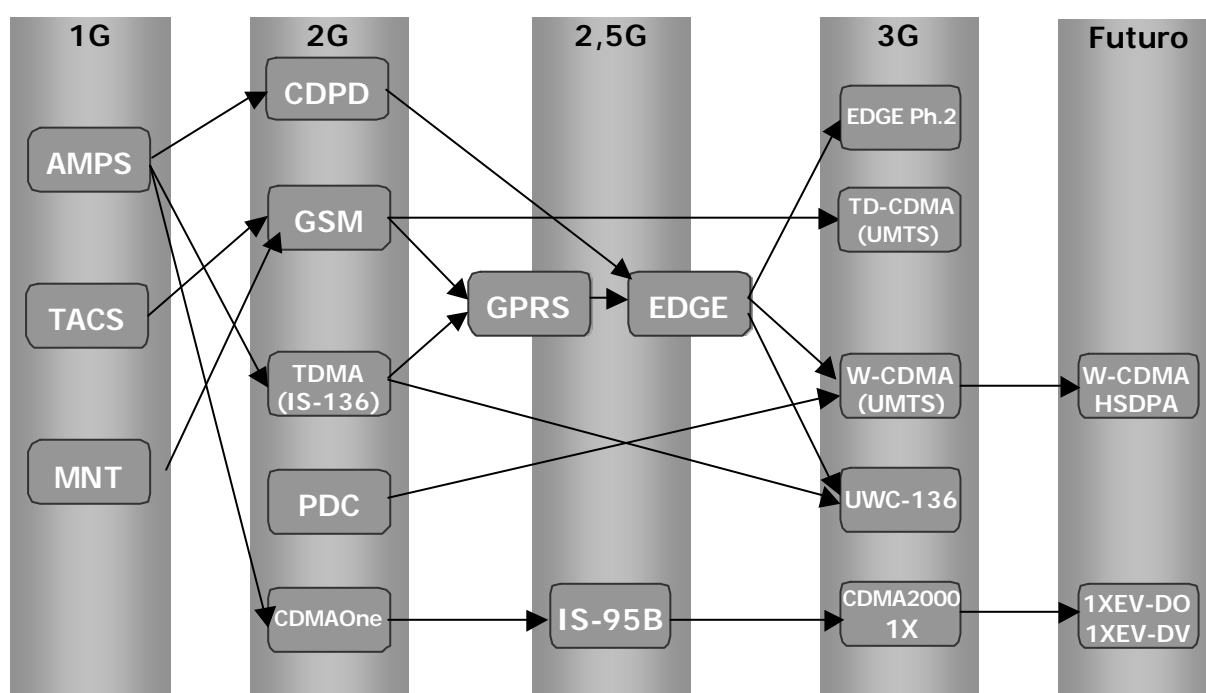


Figura 2.3. Evolução dos Sistemas de Telefonia Móvel [CDG] [HONK02] [WEISO2].

Capítulo 3.0

Estado da Arte do *Wideband* CDMA

Este capítulo caracteriza a interface aérea para a 3ª geração de telefonia móvel a partir do método CDMA de acesso a interfaces aéreas, ressaltando seus principais fundamentos e mecanismos implementados que propiciaram a sua evolução para o CDMA de banda larga. A técnica de *Spread Spectrum* é detalhada e contextualizada. E finalmente, são abordadas as características inovadoras inerentes ao W-CDMA, principalmente aquelas que o diferenciam do CDMA padrão IS-95.

3.1 Introdução

Este capítulo apresentará uma descrição abordando os aspectos mais relevantes necessários para a caracterização do método de acesso múltiplo a interfaces aéreas, CDMA (*Code Division Multiple Access*). Iniciaremos com uma abordagem sobre o CDMA de largura de banda estreita, especificado inicialmente como padrão IS-95, definindo o mecanismo de acesso, recepção do sinal, controle de potência, técnica de modulação e, principalmente, como o sinal que simboliza a informação é expandido através de uma seqüência de código, denominada *chip* (seqüência de bits do código de expansão), para evitar interferência e interceptação.

Em seqüência, serão apresentadas as novas funcionalidades incorporadas ao padrão inicial do CDMA que o tornaram um sistema de acesso múltiplo de alta largura de banda. As extensões incorporadas ao CDMA deram origem a um padrão conhecido como CDMA de banda larga ou W-CDMA (*Wideband CDMA*), o qual é o foco deste trabalho de pesquisa.

O levantamento e a análise a cerca do estado da arte do W-CDMA visa fornecer subsídios para o entendimento detalhado do método de acesso múltiplo CDMA e do processo de encaminhamento das informações via interface de rádio. Dessa forma, a abordagem das principais características do W-CDMA é essencial para entender que fatores influenciam na performance do encaminhamento dessas informações. Portanto, o estudo descrito neste capítulo irá facilitar o processo de configuração dos cenários de simulação e a posterior análise e interpretação dos resultados obtidos.

3.2 Interface Aérea para a Terceira Geração

O método de acesso múltiplo a interfaces aéreas que mais tem ganhado projeção nos últimos anos é o CDMA. O CDMA é um conceito radicalmente novo em comunicações *wireless*, e vem ganhando aceitação a nível mundial em larga escala pelas operadoras de sistemas de rádio celular como um *upgrade* que irá incrementar de forma considerável a capacidade dos sistemas e a qualidade de serviço [CDG].

O ITU através do programa IMT-2000 pretende, além de padronizar os sistemas de 3ª geração, fornecer uma via de migração tranqüila para os sistemas de 2ª geração, onde o método de acesso múltiplo dominante entre os sistemas de 3ª geração é o CDMA e os sistemas que o utilizam são os sistemas mais pesquisados e difundidos pelo mundo [CDG].

A padronização de interfaces aéreas de 3ª geração para esquemas de acesso múltiplo baseados no CDMA está focada em dois tipos de CDMA de banda larga que são classificados de acordo como o modo de operação da rede, ou seja, assíncrona ou síncrona. No modelo de rede síncrona as estações base não estão sincronizadas, enquanto no modelo de rede assíncrona as estações base estão sincronizadas umas com as outras através de um processo que demora alguns microssegundos [PRAS98].

Dentre as interfaces de rádio de 3ª geração especificadas pelo IMT-2000 os dois padrões que mais se destacam são o UMTS, padrão Europeu especificado pelo ETSI, que abrange dois padrões o W-CDMA de operação assíncrona e o TD-CDMA de operação síncrona, e, por último, o padrão Norte Americano CDMA2000 de operação síncrona especificado pelo EIA/TIA [STAL02] [SARI00]. A Tabela 3.1 apresenta um comparativo entre os principais parâmetros do W-CDMA e do CDMA2000.

Dessa forma, dentre as interfaces de rádio de 3ª geração mais difundidas a interface escolhida como base para esta pesquisa foi o W-CDMA (DS-SS/UMTS) por ser, além de foco do mercado e de intensas pesquisas, a interface a ser usada no caminho de migração de importantes sistemas de telefonia móvel de 2ª geração, assim como o GSM (utilizado no Brasil), PDC e CDPD [HONK02] passando opcionalmente pela via intermediária de migração em direção a 3ª geração que são os sistemas da geração 2,5G, tais como o GPRS e o EDGE [WEIS02] [HONK02] [IECa] (vide Figura 2.3).

3.3 Redes 3G de Telefonia Móvel baseada em CDMA

A interface aérea do W-CDMA foi inicialmente desenhada para suportar uma variedade de serviços com diferentes requisitos de Qualidade de Serviço (QoS) [MANI02] [GARG97] possuindo uma taxa máxima de até 2 Mbps, dependendo do cenário de mobilidade (vide Figura 3.17) [HONK02].

Para satisfazer as necessidades dos serviços futuros e das aplicações, diversos melhoramentos técnicos estão sendo estudados e padronizados para o W-CDMA. Mesmo com o estágio atual de desenvolvimento do W-CDMA, existe a necessidade de algumas soluções para o acesso *wireless* público no intuito de atender a demanda de aplicações como as de tráfego de pacotes IP [ERIK00] [NIEL01], aplicações de dados intensivas e habilitar o acesso *online* estável para serviços de dados corporativos [DAHAL98].

Essa necessidade poderia ser satisfeita pelo W-CDMA juntamente com sistemas celulares W-CDMA com altas taxas de dados. O W-CDMA foi projetado para ser um sistema de alta performance apto a suportar aplicações futuras que requerem transmissões

simultâneas de diversos *streams* de bits que necessitam de QoS individual. Todas estas necessidades estão contempladas na especificação da camada física do W-CDMA onde, por exemplo, vários canais de rádio cada um simbolizando um *stream* de bits podem ser multiplexados e transmitidos simultaneamente, aumentando a taxa de dados transmitidos via interface aérea.

	W-CDMA	CDMA2000
Largura de Banda do Canal	5, 10, 20 MHz	1.25, 5, 10, 15, 20 MHz
Estrutura do Canal de RF - <i>Downlink</i>	Expansão Direta	Expansão Direta ou Multiportadora (MC)
Taxa de <i>Chip</i>	4.096/8.192/16.384 Mchips/s	1.2288/3.6864/7.3728/11.0593/14.7456 Mchips/s para DS $n * 1.2288$ Mc/s (n=1,3,6,9,12) for MC
Fator de <i>Roll-Off</i>	0.22	Similar ao IS-95
Tamanho do <i>Frame</i>	10 ms/20 ms (opcional)	20 ms para dados e controle/5 ms para informação de controle no DCCH
Modulação de Expansão	QPSK Balanceada (<i>downlink</i>) Canal-dual QPSK (<i>uplink</i>)	QPSK Balanceada (<i>downlink</i>) Canal-dual QPSK (<i>uplink</i>)
Modulação dos Dados	QPSK (<i>downlink</i>) BPSK (<i>uplink</i>)	QPSK (<i>downlink</i>) BPSK (<i>uplink</i>)
Detecção Coerente	Pilot multiplexado no tempo dedicado ao usuário (<i>downlink</i> e <i>uplink</i>), piloto comum no <i>uplink</i>	Pilot multiplexado no tempo (<i>uplink</i>), Canal piloto contínuo comum e piloto auxiliar (<i>downlink</i>)
Multiplexação do Canal no <i>Uplink</i>	Canal piloto e de controle multiplexados no tempo, Multiplexação I e Q para dados e canal de controle	Controle, piloto, fundamental e suplementar multiplexados no código, Multiplexação I e Q para dados e canal de controle
Taxa múltipla	Expansão Variável e Multicódigo	Expansão Variável e Multicódigo
Fatores de Expansão	4 a 256 (4.096 Mchips/s)	4 a 256 (3.6864 Mchips/s)
Controle de Potência	<i>Loop</i> aberto e fechado rápido (1.6 kHz)	<i>Loop</i> aberto e fechado rápido (800 Hz)
Expansão (<i>Downlink</i>)	Seqüências ortogonais de tamanho variável para separação de canais, Seqüências Gold para células e separação de usuários	Seqüências Walsh de tamanho variável para separação do canal, M-seqüências 3×2^{15} (mesma seqüência com deslocamento de tempo para células diferentes e diferentes seqüências para canais I e Q)
Expansão (<i>Uplink</i>)	Seqüências ortogonais de tamanho variável para separação de canais, Seqüências Gold 2^{41} para separação de usuários	Seqüências Walsh de tamanho variável para separação do canal, M-seqüências 2^{15} (canais I e Q), M-seqüências $2^{41}-1$ para separação de usuários
<i>Handover</i>	<i>Soft Handover</i> e <i>Handover</i> Interfrequências	<i>Soft Handover</i> e <i>Handover</i> Interfrequências

Tabela 3.1. Parâmetros dos Sistemas W-CDMA e CDMA2000 [OJAN98b].

O projeto original escolhido parece estar bem alinhado com o futuro, onde todas as aplicações e serviços podem ser transportados sobre redes wireless de telefonia móvel usando os protocolos da pilha IP [HONK02]. Isto tende a favorecer novas aplicações onde usuários móveis possuem diversas seções (conexões) paralelas ativas baseadas em uma ou em diversas aplicações. Considerando todos estes aspectos, o W-CDMA já é desenvolvido além dos objetivos da tecnologia 3G original, em grande parte para apresentar uma performance melhorada em relação a qualquer outra tecnologia *wireless* para telefonia móvel [PRAS98]. Isso mostra que o CDMA é o candidato mais forte para se tornar a tecnologia de acesso e a interface aérea dominante para a 3ª geração de *Wireless Personal Communication Systems*.

3.4 Requisitos para Comutação de Pacotes em Redes 3G

Para prover os usuários finais com a qualidade de serviço necessária para viabilizar as comunicações multimídia, principalmente tráfego de voz/vídeo e acesso a Internet, são necessárias altas taxas de bits e baixas taxas de erros considerando que haja algum mecanismo de correção de erros implementado. Para garantir um ótimo suporte para a implementação de aplicações IP e qualidade no acesso a Internet é necessária uma taxa de transferência da ordem de centenas de *kilobits* por segundo e taxas de erros (*Bit Error Rate* - BER) máximas na ordem de 10^{-3} [OJAN98b] [ERIK00].

Dessa forma, as taxas de transferência e principais requisitos para os sistemas de 3ª geração foram definidos como [CINT] [DAHL98] [OJAN98a] [SARI00] [PRAS98]:

- Ampla área de cobertura para usuário em alta mobilidade a uma taxa de 144 kbps, preferencialmente a 384 kbps;
- Cobertura local para usuários em baixa mobilidade a uma taxa de 2 Mbps;
- Utilização eficiente do espectro comparado com os sistemas existentes, e
- Alta flexibilidade para introduzir novos serviços.

Em conseqüência das aplicações multimídia para Internet serem todas orientadas a pacotes (por exemplo, VoIP), é essencial otimizar as técnicas de 3ª geração para efetivamente fornecer taxas de bits variáveis e suportar aplicações que utilizem pacotes de dados. Através dessa abordagem, recursos de rede e de dados podem estar disponíveis de forma compartilhada para diversos usuários, e, dessa forma, utilizar a natureza desse tipo de comunicação de forma eficiente.

Fornecer suporte a aplicações multimídia também implica em flexibilidade. Estar apta a tratar serviços com diferentes taxas de bits e requisitos de E_b/N_0 [MELI00] e multiplexar tais serviços em um ambiente multiserviço é essencial (veja a Figura 3.1). Assim, a tecnologia de 3ª geração deve ser otimizada para ser flexível e utilizar os recursos disponíveis de forma eficiente.

Por conseguinte, este trabalho de pesquisa visa exatamente analisar a performance da interface de rádio, em diversos cenários, para avaliar os parâmetros necessários para que o tráfego de pacotes possa ser encaminhado da forma mais eficiente possível, em cada um dos cenários desenvolvidos para análise.

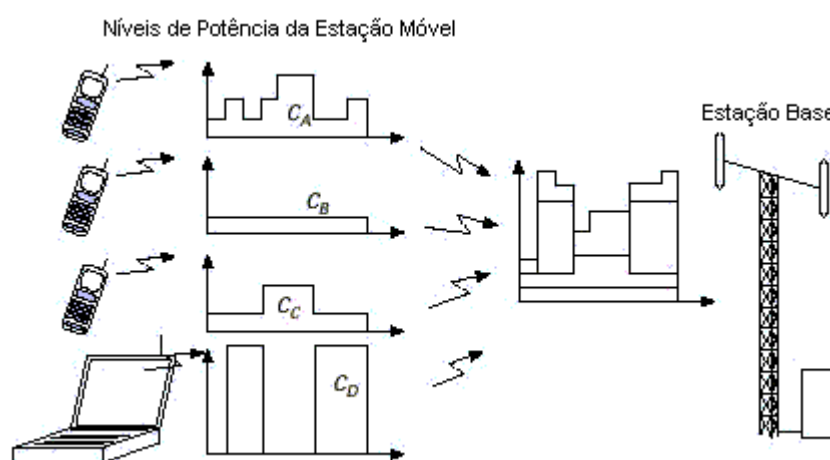


Figura 3.1. Multiplexação usuários com taxas de bits variáveis [DAHL98].

3.5 Características do Método CDMA de Acesso Múltiplo a Interfaces Aéreas

No CDMA cada usuário é associado a uma única seqüência de código, onde ele utiliza essa seqüência para codificar seu sinal de informação, ou seja, o seu *stream* de bits a ser transmitido. O receptor conhecendo a seqüência de código do usuário, decodifica um sinal recebido após a recepção e recupera o dado original. Isto é possível desde que correlação cruzada² [GARG97] [ROSS02c] [ROSS02a] entre o código de um determinado usuário e os códigos dos outros usuários seja pequena, isto é, nenhum usuário deve utilizar a mesma seqüência de código de outro usuário.

² Conceito baseado no princípio de ortogonalidade de códigos, o qual diferencia todas as seqüências de bits pertencentes a algum determinado código.

Em consequência do sinal do usuário ser codificado através da sequência de código do CDMA, a largura de banda do sinal de código do CDMA deve ser mais ampla que a largura de banda do sinal de informação do usuário. O processo de codificação que expande o espectro do sinal de informação é então conhecido como modulação *spread spectrum*. O sinal resultante é também chamado de um sinal *spread spectrum*, e o CDMA é freqüentemente denotado como sistema *spread spectrum* de acesso múltiplo (*Spread Spectrum Multiple Access - SSMA*).

A expansão do espectro do sinal transmitido dá ao CDMA sua capacidade de acesso múltiplo. Isso é importante para conhecer a técnica necessária para gerar sinais *spread spectrum* e as propriedades destes sinais. A técnica de modulação *spread spectrum* deve ser guiada por dois critérios:

- A largura de banda da transmissão deve ser mais ampla que a largura de banda da informação, e
- A largura de banda da radiofrequência resultante é determinada por uma outra função que a informação inicialmente envia (assim a largura de banda é estatisticamente independente do sinal da informação). Isto exclui técnicas de modulação como Modulação da Freqüência (FM) e modulação da Fase (PM).

A relação entre a largura de banda de transmissão e a largura de banda da informação é chamada de ganho de processamento (*Processing Gain - Gp*), do sistema *spread spectrum*, e é dada pela relação:

$$Gp = B_t/B_i$$

onde B_t é a largura de banda da transmissão e B_i é a largura de banda do sinal que carrega a informação.

O receptor combina o sinal recebido com uma reprodução gerada de forma síncrona do código de expansão (gerado pelo transmissor) para recuperar o sinal original que carrega a informação. Isso implica que o receptor deve conhecer o código usado para modular o dado no transmissor [PRAS98] [STAL02].

Por causa da codificação e da largura de banda resultante ampliada, os sinais SS (*Spread Spectrum*) tem um número de propriedades que diferem das propriedades de sinais de banda estreita [FALHA]. Um dos mais interessantes tópicos, do ponto de vista dos sistemas de comunicação, será discutido a seguir. Para ter um entendimento claro do processo de expansão do espectro, a técnica *spread spectrum* de sequência direta (DSSS) utilizada pelo CDMA será abordada com um exemplo contextualizado no próximo tópico.

3.5.1 Capacidade de Acesso Múltiplo a Interface Aérea

Se múltiplos usuários transmitem um sinal SS ao mesmo tempo, o receptor ainda será capaz de distinguir entre os usuários desde que cada usuário tenha um único código que tenha uma baixa correlação cruzada (correspondência) com os outros códigos utilizados pelos outros usuários [CGD]. Uma determinada estação móvel irá relacionar o sinal recebido com um sinal codificado de um certo usuário e concentrar somente o sinal deste usuário, enquanto os outros sinais SS irão ficar difundidos sobre uma ampla largura de banda. Assim, dentro da ampla largura de banda da informação, a potência do sinal do usuário em questão será maior que a potência de interferência desde que não existam interferências demais, e, dessa forma, o sinal desejado pode ser extraído [ROSS02b].

A capacidade de acesso múltiplo é ilustrada na Figura 3.2. Na Figura 3.2a, dois usuários geram um sinal SS a partir de seus sinais de dados de largura de banda estreita. Na Figura 3.2b ambos os usuários transmitem seus sinais SS ao mesmo tempo. No receptor 1 somente o sinal do usuário 1 é concentrado e o dado recuperado, isso demonstra a característica de privacidade das transmissões SS, portanto, o sinal transmitido pode somente ser concentrado e o dado recuperado se o código for conhecido pelo receptor [PRAS98].

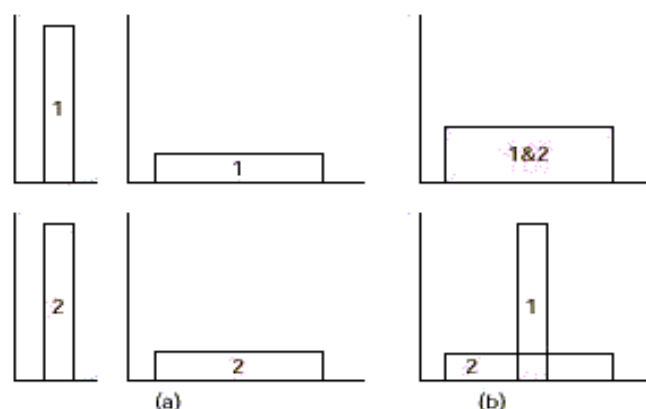


Figura 3.2. Princípio do Método de Acesso Múltiplo *Spread Spectrum* [PRAS98].

3.5.2 Técnicas de Modulação

Por causa da sua baixa densidade de potência, o sinal *Spread Spectrum* (SS) é difícil de ser detectado e interceptado por algum espião, e essa é uma das vantagens da modulação SS que dá ao CDMA a característica de LPI (*Low Probability of Interference*) [ROSS02d]. Uma classificação geral do CDMA é dada na Figura 3.3. Existe um número

substancial de técnicas de modulação que geram sinais SS. Discutiremos brevemente a mais importante do ponto de vista desse estudo [STAL02] [PRAS98] [GARG97].

- **Direct Sequence Spread Spectrum** – O sinal que transporta a informação é multiplicado diretamente por um sinal de código de alta taxa de *chip*;
- **Frequency Hopping Spread Spectrum** - A frequência portadora, na qual o sinal carrega a informação, é transmitida e rapidamente sofre uma mudança de acordo com o código do sinal;
- **Time Hopping Spread Spectrum** – O sinal que carrega a informação não é transmitido continuamente. Em vez disso, o sinal é transmitido em curtas explosões, onde os tempos de explosões são decididos pelo código do sinal;
- **Modulação Híbrida** – Duas ou mais das técnicas de modulação SS acima mencionadas pode ser usadas juntamente para combinar suas vantagens e, é esperado, que isso combata suas desvantagens. Além disso, é possível combinar o CDMA com outros métodos de acesso múltiplo: TDMA, *multicarrier* (MC), modulação *multitone* (MT). No caso de MC-CDMA [PRAS98] [OJAN98b] [SARI00], a expansão é feita ao longo do eixo de frequências, enquanto para MT-CDMA [PRAS98] [OJAN98a] a expansão é feita ao longo do eixo de tempo. Observe que MC-CDMA e MT-CDMA são baseados em Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, OFDM) [STAL02] [OJAN98b]. A Figura 2.2 também expõe alguns tipos de modulação híbrida.

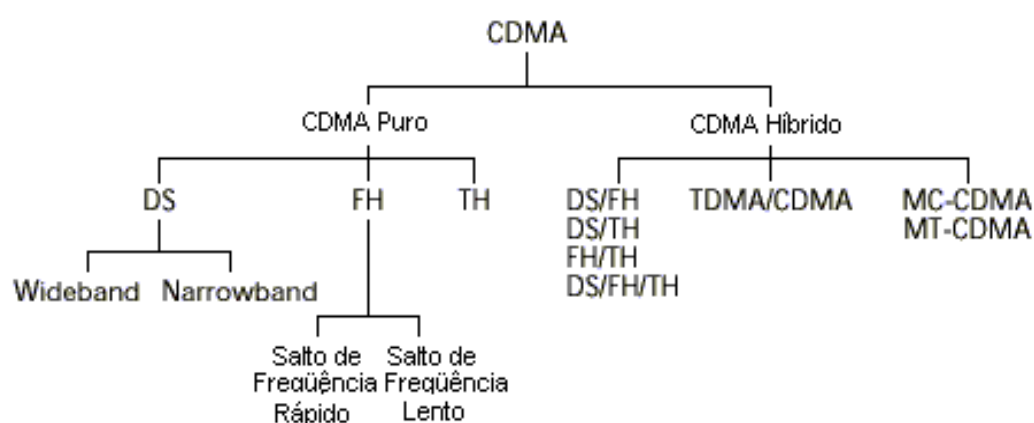


Figura 3.3. Classificação do CDMA [PRAS98].

Na próxima seção a técnica de modulação DSSS, mencionada anteriormente, é utilizada para demonstrar a capacidade de acesso múltiplo do CDMA. Pois as seções

posteriores serão abordadas contextualizando a modulação *direct sequence* CDMA (DS-CDMA) de acordo com o assunto exposto por cada tópico. Para outros detalhes consulte também [ADAC98], [MALO98] e [SARI00].

3.5.3 **Spread Spectrum**

A técnica de *spread spectrum* (SS) pode ser usada para transmitir dados analógicos ou digitais usando um sinal analógico, e foi desenvolvida inicialmente para requisitos militares e de inteligência. A idéia essencial é difundir o sinal que simboliza a informação sobre uma ampla largura de banda para dificultar a interferência e interceptação. A primeira técnica de expansão de espectro desenvolvida foi a *frequency hopping*. A técnica mais recente de expansão de espectro é a *direct sequence* ou seqüência direta. Ambas as técnicas são usadas em vários padrões de comunicação *wireless*.

3.5.3.1 **Direct Sequence Spread Spectrum**

O sistema *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) é um sistema de banda larga no qual a largura de banda inteira está disponível para cada usuário. Um sistema é definido para ser um sistema DSSS se o mesmo satisfaz os seguintes requisitos [GARG97]:

- O código de expansão ou sinal de expansão tem uma largura de banda muito maior que a largura de banda mínima necessária para transmitir a informação desejada;
- A expansão do dado é executada por meio de um sinal de expansão, freqüentemente chamado de sinal de código. O sinal de código é independente do dado e possui uma taxa muito mais alta que a taxa do sinal de dado, e
- No receptor, a recepção correta do sinal que denominamos de concentração é executada através da correlação cruzada do sinal expandido, que foi recebido, com uma réplica sincronizada do mesmo sinal usada para expandir o dado.

A Figura 3.4 mostra as principais características que qualquer sistema *spread spectrum* ilustrando que a entrada alimenta um canal codificador que produz um sinal analógico com uma largura de banda relativamente estreita em torno de alguma freqüência central. Esse sinal é mais adiante modulado usando uma seqüência de dígitos conhecida como um código de expansão ou seqüência de expansão. Tipicamente, mas não sempre, o código de expansão é gerado por um gerador de pseudo-ruído ou gerador de número

pseudo-aleatório. O objetivo dessa modulação é incrementar significativamente a largura de banda do sinal a ser transmitido. No receptor, a mesma sequência de dígitos é usada para demodular o sinal *spread spectrum*. Finalmente, o sinal alimenta um canal decodificador para recuperar o dado [STAL02].

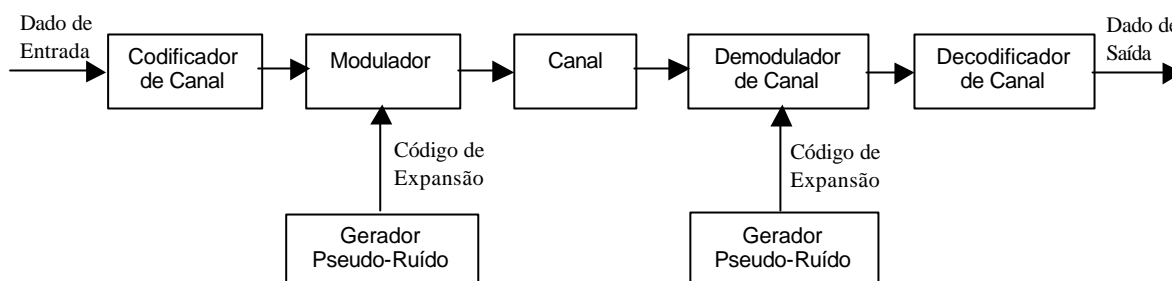


Figura 3.4. Sistema DSSS [STAL02].

O sinal de dado pode ser analógico ou digital; em muitos casos ele é digital. No caso de um sinal digital a modulação da informação é freqüentemente omitida e o sinal que carrega a informação é diretamente multiplicado pelo sinal que representa o código de expansão, e o sinal resultante modula a portadora de banda larga. É dessa multiplicação direta que a DS-CDMA obtém seu nome [PRAS98].

Diversas coisas podem ser ganhas com essa aparente perda de espectro:

- Nós podemos ganhar imunidade de vários tipos de ruído e distorções de *Multipath*;
- As aplicações mais recentes de *Spread Spectrum* são militares, onde elas são usadas para obter imunidade a interferência;
- Ela pode ser usada para esconder e encriptar sinais. Somente um recipiente que conhece o código de expansão pode recuperar a informação codificada;
- Diversos usuários podem independentemente usar a mesma faixa da alta largura de banda com pouquíssima interferência.

3.5.3.2 Modulação *Spread Spectrum*

Com DSSS, cada bit no sinal original é representado por múltiplos bits no sinal transmitido, usando um código de expansão. Esse código de expansão consiste de um número de bits de código chamados "*chips*" que podem ser +1 ou -1 (notação bipolar). Para obter a desejada expansão do sinal, a taxa de *chip* do sinal de código deve ser muito mais alta que a taxa de bits do sinal de informação [PRAS98]. Os códigos de expansão

difundem o sinal através de uma vasta banda de frequências em uma proporção direta ao número de bits usados. Então, um código de expansão de 10 bits difunde o sinal através de uma banda de frequência que é 10 vezes maior que um código de expansão de 1 bit.

Uma técnica como DSSS combina um *stream* de informação digital com o *stream* de bit do código de expansão usando um XOR (*eXclusive Or*), a Figura 3.5 mostra um exemplo. Observe que um bit de informação de 1 (um) inverte os bits do código de expansão na combinação, enquanto um bit de informação de 0 (zero) faz com que os bits do código de expansão sejam transmitidos sem inversão. O *stream* de combinação de bits tem a taxa de dados da seqüência original do código de expansão, assim ela tem uma maior largura de banda que o *stream* da informação. Neste exemplo, o *stream* de bits do código de expansão é quatro vezes maior que a taxa de informação [STAL02].

Para a modulação de código várias técnicas de modulação podem ser usadas, mas usualmente algumas formas de PSK (*Phase Shift Keying*) como BPSK (Binária PSK), D-BPSK (Diferencial Binária PSK), QPSK (*Quaternary PSK*), ou MSK (Mínima SK) são empregadas.

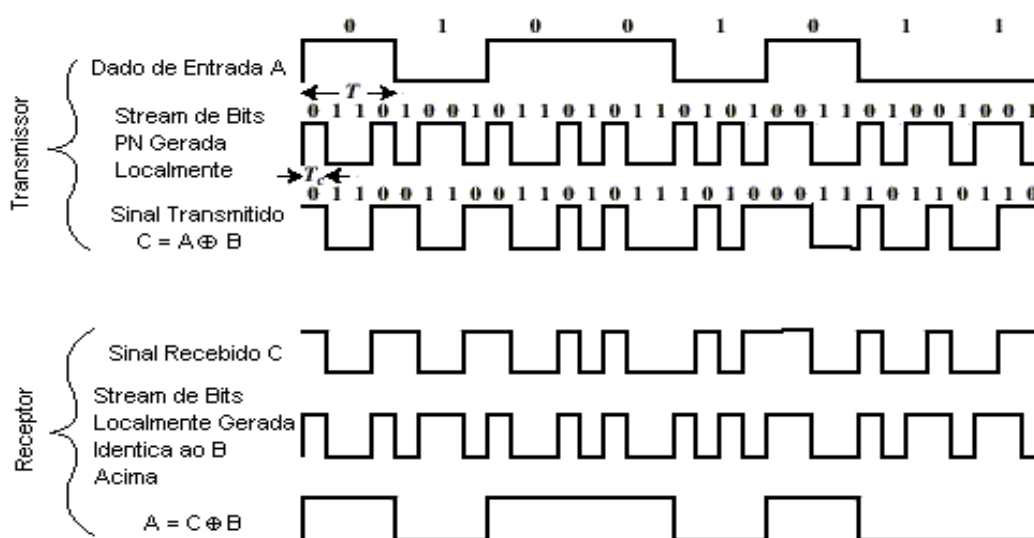


Figura 3.5. Exemplo de Modulação DSSS [STAL02].

3.5.3.3 Um Exemplo de DSSS usando Modulação BPSK

Para ver como essa técnica trabalha na prática, considere que o esquema de modulação BPSK está sendo usado. Preferencialmente representaremos de forma diferente os dados binários 1 e 0, onde é mais conveniente para nossos propósitos usarmos +1 e -1 para representarmos os dígitos binários. Neste caso, um sinal BPSK pode ser representado como está exposto na equação abaixo:

$$s_d(t) = A d(t) \cos (2\pi f_c t) \quad \text{Equação 1}$$

Onde

A = Amplitude do sinal

f_c = Freqüência da portadora

$d(t)$ = A função discreta que emprega no valor de +1 para um tempo de bit, se o bit correspondente no *stream* de bit é 1 e o valor de -1 para um tempo de bit, se o bit correspondente no *stream* de bit é 0.

Para produzir o sinal DSSS, multiplica-se a equação do sinal acima por $c(t)$, o qual é a seqüência PN (Pseudo-Noise), pseudo-ruído, empregada sobre o valor de +1 e -1:

$$s(t) = A d(t) c(t) \cos (2\pi f_c t) \quad \text{Equação 2}$$

No receptor, o sinal de entrada é multiplicado novamente por $c(t)$. Mas $c(t) \times c(t) = 1$ e então o sinal original é recuperado:

$$s(t) c(t) = A d(t) c(t) c(t) \cos (2\pi f_c t) = s_d(t) \quad \text{Equação 3}$$

A Equação 2 pode ser interpretada de duas formas, devido a duas diferentes implementações. A primeira implementação é para primeiro multiplicar $d(t)$ e $c(t)$ juntamente e então executar a modulação BPSK. Essa é a implementação que foi discutida está ilustrada na Figura 3.6. Alternativamente, pode-se primeiro executar a modulação BPSK no *stream* de dados $d(t)$ para gerar o sinal de dados $s_d(t)$. Esse sinal pode então ser multiplicado por $c(t)$ [STAL02] [GARG97].

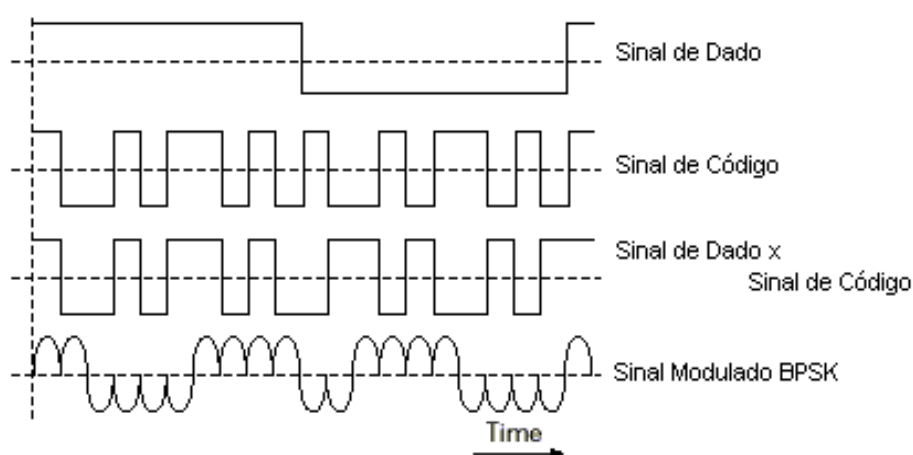


Figura 3.6. Geração de um Sinal SS com Modulação BPSK [PRAS98].

Após a transmissão de sinal, o receptor (mostrado na Figura 3.7) usa demodulação coerente para concentrar o sinal SS, usando uma seqüência de código gerada localmente.

Para estar apto a executar a operação de concentração do sinal, o receptor deve não somente conhecer a seqüência de código usada para expandir o sinal, mas os códigos do sinal recebido e o código gerado localmente também devem estar sincronizados. Essa sincronização deve estar completa no início da recepção e mantida até todo o sinal ter sido recebido. O bloco sincronização/rastreamento de código executa essa operação.

Após a concentração temos um sinal modulado de dado e após a demodulação o dado original pode ser então recuperado.

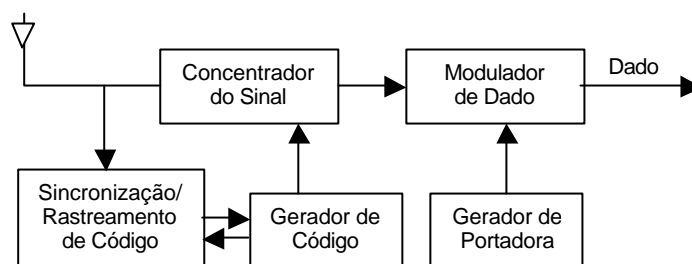


Figura 3.7. Receptor de um Sinal DSSS.

Nos tópicos anteriores várias propriedades vantajosas do sinal SS foram mencionadas. As mais importantes destas propriedades do ponto de vista do CDMA é a capacidade de acesso múltiplo, a rejeição de interferência *multipath*, rejeição de interferência de faixa estreita e com respeito à segurança/privacidade, a LPI (*Low Probability of Interception*).

Além das propriedades mencionadas acima, o DS-CDMA tem um número de outras propriedades específicas que nós podemos separar em vantagens e desvantagens [PRAS98]. As vantagens são:

- A geração de sinal codificado é fácil e a mesma pode ser executada por uma simples multiplicação;
- Desde que somente uma freqüência portadora tenha sido gerada, um sintetizador de freqüência (gerador de portadora) é simples;
- A demodulação coerente do sinal DS é possível, e
- A sincronização entre os usuários não é necessária.

No entanto, as desvantagens são as seguintes:

- É difícil adquirir e manter a sincronização entre o sinal de código gerado localmente e o sinal recebido. A sincronização deve ser guardada dentro de uma fração de tempo de *chip*;
- Para a recepção correta, o erro de sincronização da seqüência de código gerada localmente e a seqüência de código recebida deve ser muito pequena,

uma fração do tempo de *chip*. Isso aliado a indisponibilidade de bandas de frequência amplas e contínuas, praticamente limita a largura de banda em 10-20 MHz, e

- A potência de usuários próximos a estação base é muito mais alta que a recebida de usuários em outro lugar mais distante. Desde que um usuário transmita continuamente sobre toda a largura de banda, um usuário próximo à base irá constantemente criar uma grande quantidade de interferência para usuários distantes da estação base, tornando sua recepção impossível. Esse efeito *near-far*³ [STAL02] [PRAS98] pode ser resolvido através da aplicação de um algoritmo de controle de potência [NOVA00] [GARG97] de forma que todos os usuários são recebidos pela estação base com a mesma potência média. De qualquer forma esse controle se mostra bastante difícil.

Considerações sobre a performance do DS-CDMA podem ser encontradas em [GARG97] e em [STAL02].

3.5.4 Proteção Contra Interferência *Multipath*

No canal de rádio não existe exatamente um só caminho entre o transmissor e o receptor. Devido a reflexões e refrações um sinal será recebido de um número de diferentes caminhos. Os sinais dos diferentes caminhos, sinais *multipath* [STAL02] [ROSS02b], são todos cópias do mesmo sinal transmitido, mas com diferentes amplitudes, fases, *atrasos* e ângulos de chegada. A chegada de todos estes sinais no receptor será construtiva para algumas frequências e destrutiva para outras. No domínio de tempo, isto resulta em um sinal disperso. A modulação *Spread Spectrum* pode combater esta interferência de múltiplos caminhos ou interferência *multipath*. De qualquer forma, o modo como isso é alcançado depende muito do tipo de modulação utilizada [PRAS98].

Na seção seguinte será apresentada uma solução para resolver o problema da interferência *multipath* tirando proveito de um aparente problema, que é a recepção de um mesmo sinal chegando ao receptor por múltiplos caminhos, melhorando a qualidade e inteligibilidade do sinal recebido.

³ No tópico que trata do controle de potência (3.5.6) será discutida uma solução para o problema *near-far*.

3.5.5 Receptor RAKE

Em um canal *multipath*, o sinal originalmente transmitido é refletido por obstáculos assim como edifícios e montanhas, e o receptor recebe diversas cópias do mesmo sinal com diferentes *atrasos*. Se os sinais chegam mais que um *chip* separado um do outro, o receptor pode resolvê-los. Atualmente, de cada ponto de vista de sinal de *multipath*, outros sinais de *multipath* podem ser observados como interferência e eles são suprimidos através do ganho de processamento (G_p). De qualquer forma, um benefício adicional é obtido se os sinais *multipath* resolvidos forem combinados usando o receptor RAKE [ZOU] [STAL02].

Assim, a forma da onda dos sinais CDMA facilita a utilização da diversidade de *multipath*. Expressando o mesmo fenômeno no domínio de frequência significa que a largura de banda do sinal transmitido é mais ampla que a largura de banda coerente do canal e o canal é seletivo em si tratando de frequência (isto é, somente parte do sinal é afetado pelo *fading*).

O receptor RAKE consiste de combinadores de sinal ("correladores"), cada um recebendo um sinal *multipath*. Após a concentração do sinal pelos "correladores", os sinais são então combinados. Desde que os sinais *multipath* recebidos sejam dispersos (*fading*) independentemente, a ordem de diversidade e, portanto, a performance é melhorada. A Figura 3.8 ilustra a princípio do receptor RAKE. Após a expansão e modulação o sinal é transmitido e ele passa através do canal *multipath*, o qual pode ser modelado através de uma linha atraso instalada (por exemplo, os sinais refletidos são atrasados e atenuados no canal). Na Figura 3.8 nós temos três componentes *multipath* com diferentes *atrasos* (τ_1 , τ_2 e τ_3) e fatores de atenuação (a_1 , a_2 e a_3), cada um correspondendo a um caminho diferente de propagação.

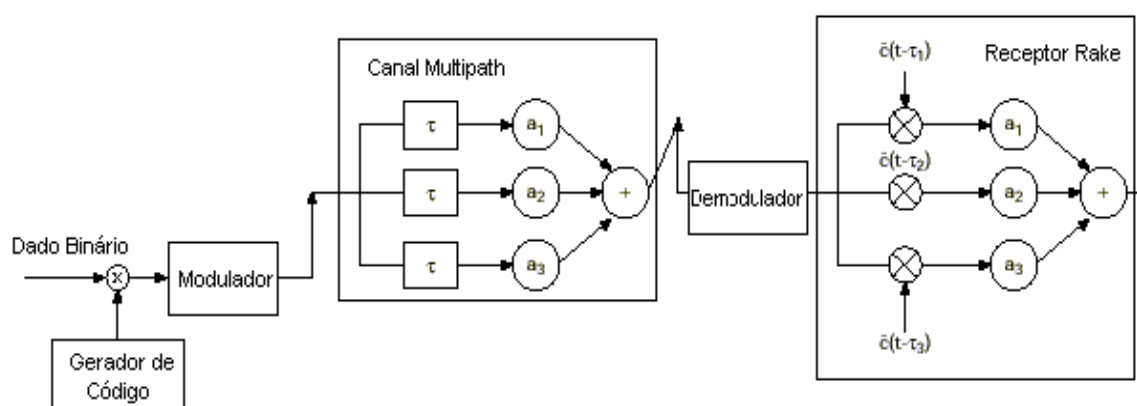


Figura 3.8. Princípio do Receptor RAKE [PRAS98].

O receptor RAKE tem um receptor *finger* para cada componente de *multipath*. Em cada *finger*, o sinal recebido é correlacionado com um código de expansão, o qual é alinhado no tempo com o atraso do sinal *multipath*. Após a concentração, os sinais são sobrecarregados e combinados. Na Figura 3.8, a combinação de razão máxima é utilizada, isto é, cada sinal é sobrecarregado através do ganho de caminho (fator de atenuação).

Devido ao movimento de aparelhos móveis o ambiente de dispersão irá mudar, e assim, os *atrasos* e fatores de atenuação irão mudar também. Então, é necessário medir o perfil de linha de atraso instalada e realocar os *fingers* do receptor RAKE a todo o momento que for necessário. Mudanças em pequena escala, menos que um *chip*, são obtidas por um *loop* de rastreamento de código, o qual rastreia o atraso de tempo de cada sinal *multipath* [PRAS98].

3.5.6 Controle de Potência

No *uplink* de um sistema DS-CDMA, o requisito para controle de potência é o ponto mais seriamente negativo. O problema de controle de potência aparece por causa da interferência de acesso múltiplo. Todos os usuários em um sistema DS-CDMA transmitem suas mensagens usando a mesma largura de banda ao mesmo tempo e, por conseguinte, os usuários provocam interferência uns sobre os outros. Devido ao mecanismo de propagação, o sinal recebido pela estação base de um terminal de usuário próximo a mesma será mais forte que um sinal recebido de um outro terminal localizado na borda da célula. Portanto, os usuários distantes serão dominados pelos usuários mais próximos. Isto é chamado de efeito *near-far*. Para alcançar uma capacidade considerável, todos os sinais, desprezando a distância, deveriam chegar a estação base com a mesma potência média [PRAS98].

A solução para o problema de *near-far* é o controle de potência, o qual tenta alcançar um nível constante de potência média recebida para cada usuário e, conseqüentemente, reduzir a interferência total e minimizar o consumo de bateria pela estação móvel. Além disso, o controle de potência rápido pode ser usado para combater as variações rápidas de canal ou *fading* rápido [MELI00]. Então, a performance do controle de potência do transmissor (*Transmitter Power Control* - TPC) [MELI00] é um dos diversos fatores a serem considerados quando decidimos sobre a capacidade de um sistema DS-CDMA. Para operação rápida de TPC, no receptor RAKE é medida a relação entre o sinal e a interferência proveniente do ruído de fundo (*Signal Interference Ratio* - SIR) e comparada com a SIR desejada para gerar um comando TPC [NOVA00], o qual será

transmitido a cada $0,625 \text{ ms}^4$ para a estação móvel e estação base, via *downlink* e *uplink*, para aumentar ou diminuir a potência de transmissão. Na estação base duas antenas espacialmente separadas são usadas para reduzir a potência de transmissão na estação móvel [ADAC98] [SAWA00].

Em contraste com o *uplink*, no *downlink* todos os sinais propagam-se através do mesmo canal e dessa forma são recebidos por uma estação móvel com igual potência. Dessa forma, o controle de potência não é necessário para eliminar o problema de *near-far*. Contudo, o controle de potência rápido foi implementado no *downlink* para melhorar a performance do mesmo e o impacto do controle de potência rápido no *downlink* é duplo. De um lado, ele melhora a performance em um canal de *multipath fading*; do outro lado, ele incrementa a variação da interferência multiusuário dentro da célula visto que a ortogonalidade entre os usuários não é perfeita devido ao canal *multipath* [OJAN98b].

O controle de potência é, de qualquer forma, necessário para minimizar a interferência sobre outras células e criar um efeito compensatório contra a interferência oriunda de outras células. A situação de pior caso para uma estação móvel ocorre quando a estação móvel está na fronteira da célula, equidistante de três estações base. Mesmo assim, a interferência de outras células não varia muito abruptamente. Além de ser útil contra interferência de usuários, o controle de potência melhora a performance do DS-CDMA em relação ao canal de *fading* através da compensação dos *fading dips*. Se seguido o canal de *fading* perfeitamente, o controle de potência deveria transformar um canal de *fading* em um canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*, AWGN) através da eliminação completa dos *fading dips* [PRAS98].

Existem dois tipos de princípios de controle de potência:

- **Open Loop**, e
- **Closed Loop**

O controle de potência *open loop*, ilustrado na Figura 3.9, mede as condições de interferência do canal e ajusta a potência de transmissão adequadamente.

De qualquer forma, visto que o *fast fading* não correlaciona *uplink* e *downlink*, o controle de potência *open loop* irá alcançar a potência objetivada somente em média. Então, o controle de potência *closed loop* é necessário. O controle de potência *closed loop* mede a razão sinal/interferência e envia comandos para o transmissor na outra ponta e

⁴ Um *frame* delimita um intervalo de transmissão que dura 10 ms. Cada *frame* é dividido em 15 *slots* de tempo onde cada um dura 0,625 ms.

ajusta a potência de transmissão como pode ser observado na Figura 3.10 [PRAS98] [NOVA00].

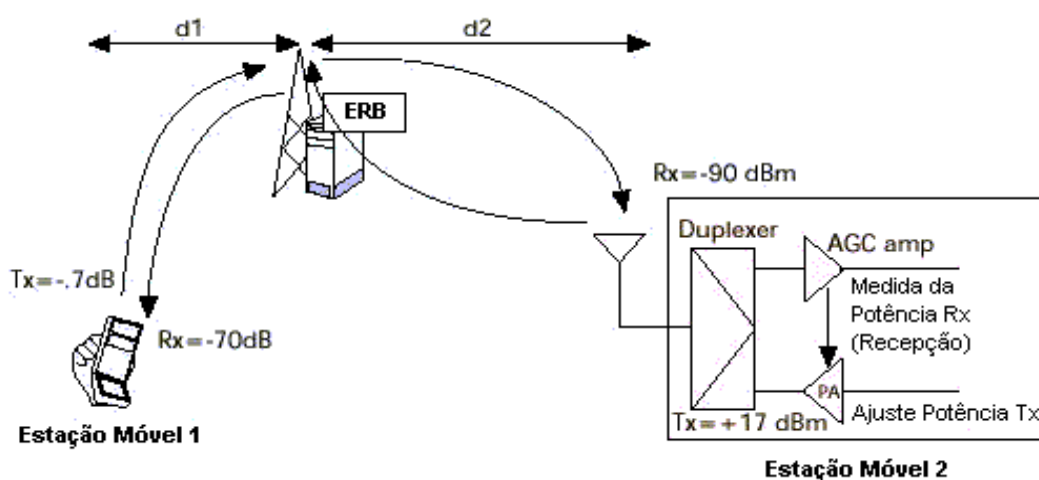


Figura 3.9. Princípio do Controle de Potência de *Loop Aberto* [PRAS98].

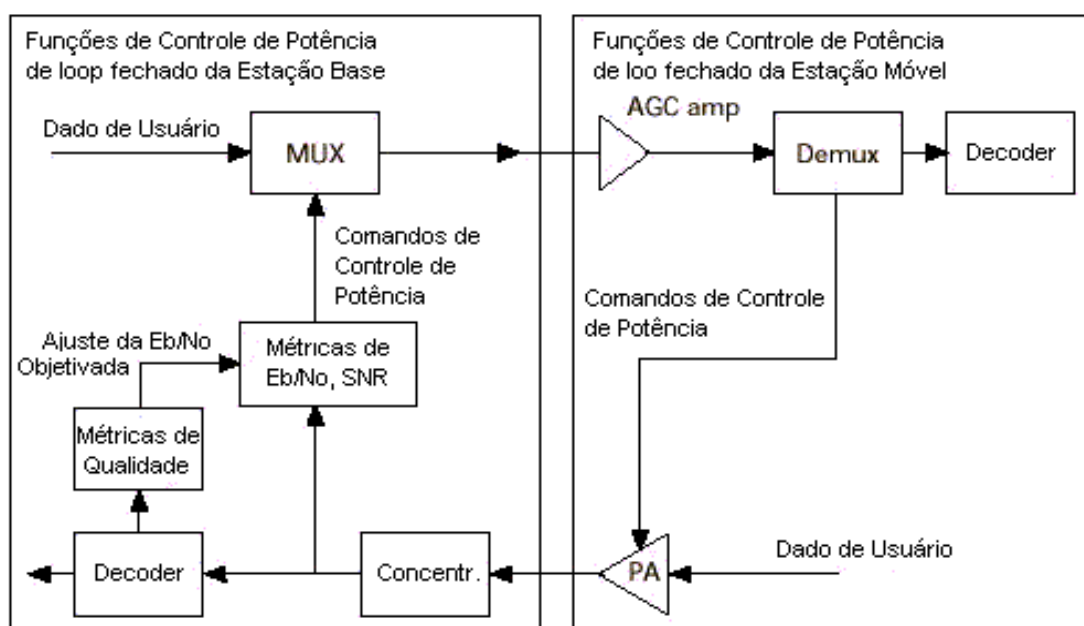


Figura 3.10. Princípio do Controle de Potência de *Loop Fechado* [PRAS98].

3.5.7 Rejeição a Interferência

A correlação cruzada entre o sinal de código com um sinal de faixa estreita irá expandir a potência do sinal de faixa estreita e, através disso, reduzir a potência que interfere na largura de banda da informação. Isso está ilustrado na Figura 3.11. O sinal SS

(s) recebe uma interferência de faixa estreita (i) [PRAS98]. No receptor o sinal SS é concentrado enquanto o sinal de interferência é expandido, fazendo ele aparecer como ruído de fundo quando comparado ao sinal expandido [STAL02].

Além disso, a interferência pode ser intencionalmente imposta no sistema, interferência de faixa estreita. A capacidade que os sistemas SS têm em combater esse tipo de interferência juntamente com a propriedade de baixa probabilidade de interceptação (LPI) é que os tornam atrativos para aplicações militares e de segurança.

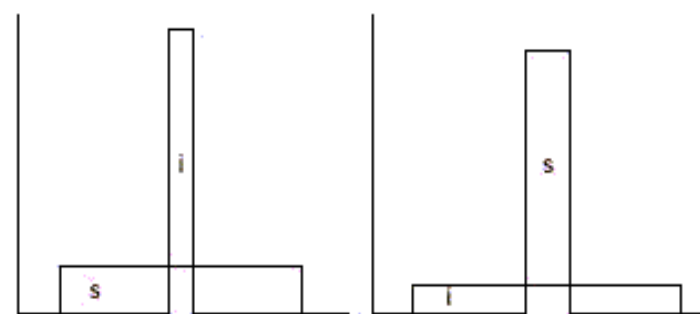


Figura 3.11. Rejeição a Interferência [PRAS98].

3.6 Características do *Wideband* CDMA

Na seção anterior foi abordado o método de acesso DS-CDMA de largura de banda estreita e alguns conceitos fundamentais, assim como a modulação SS, que tornam o CDMA tão atrativo para aplicações que requerem privacidade, alto grau de proteção contra interferência e um mecanismo eficiente de acesso múltiplo a interface de rádio. Nesta seção, nos examinaremos os principais conceitos associados ao DS-CDMA de banda larga e entender como o padrão CDMA evoluiu para tornar possível a sua aplicação em sistemas de 3ª geração. Os principais aspectos evolutivos incorporados a esse padrão que foram o acréscimo de largura de banda, códigos de expansão do sinal de dados, taxa de *chip*, *soft handover*, detecção multiusuário, diversidade de transmissão, operação assíncrona de estação base, suporte a *arrays* de antenas adaptáveis, dentro outros.

3.6.1 Largura de Banda

A largura de banda nominal para todas as interfaces aéreas de 3ª geração é de 5 MHz. A escolha dessa largura de banda é justificada pelos fatores expostos a seguir. Primeiro, as taxas de dados de 144 kbps e 384 kbps são possíveis graças à largura de

banda de 5 MHz. Mesmo os 2 Mbps de taxa de pico podem ser alcançados somente sob condições limitadas [PRAS98].

Segundo, a escassez de espectro disponível leva a uma alocação mínima de espectro, especialmente se o sistema tem que ser desenvolvido dentro da banda de frequência existente também ocupada pelos sistemas da 2ª geração.

Terceiro, embora a extensa largura de banda de 5 MHz possa aumentar ainda mais o efeito *multipath*, que é menor em uma largura de banda mais estreita, resulta em um aumento da diversidade de frequências [STAL02] e, dessa forma, melhora a performance. Larguras de banda mais amplas de 10, 15 e 20 MHz, suportadas por altas taxas de *chip*, foram propostas com o intuito de suportar altíssimas taxas de dados de forma mais eficiente [OJAN98b]. Uma análise sobre o efeito da expansão da largura de banda pode ser encontrada em [ADAC98].

3.6.2 Códigos de Expansão do Sinal

O W-CDMA emprega códigos de expansão para expandir a largura de banda do sinal de informação. Diferentes códigos de expansão são usados para separação de células no canal de *downlink* e separação de usuários no canal de *uplink*. No canal de *downlink* códigos *Gold* [STAL02] [DINA98] de tamanho 2^{18} são usados, mas eles são truncados para formar um ciclo de *frames* de $2^{16} \times 10$ ms. Conseqüentemente para minimizar o tempo de busca de células, um esquema especial conhecido como máscara de código curta foi implementado. Os códigos ortogonais curtos são chamados de códigos de canalização, e as seqüências PN (pseudo-ruído) longas de códigos de *scrambling*⁵ (códigos Gold e Kasami). Portanto, cada canal de transmissão é distinguido através da combinação de um código de canalização e de um código de *scrambling* [DINA98].

O canal de sincronização do W-CDMA é mascarado com um código *Gold* curto ortogonal de tamanho de 256 *chips* correspondendo a um símbolo. A ortogonalidade pode ser alcançada através da multiplicação de cada entrada binária do usuário, por uma seqüência de expansão curta a qual é ortogonal em relação a qualquer outra seqüência de qualquer outro usuário da mesma célula. O princípio da ortogonalidade de códigos define que o produto interno de qualquer seqüência de tamanho m ortogonal par-a-par é igual a zero [TANE96]. Portanto, sejam S e T duas seqüência ortogonais então o produto interno entre S e T, $S \times T$, é igual a 0 (zero).

⁵ Seqüências pseudo-ramdômicas usadas para converter um sinal de alta amplitude e largura de banda estreita em um sinal de baixa amplitude e alta largura de banda.

Matematicamente:

$$S \times T = \frac{1}{m} \prod_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad \hat{=} \quad \frac{1}{m} \prod_{i=1}^m S_i \bar{T}_i = 0$$

em contraposição

$$S \times S = \frac{1}{m} \prod_{i=1}^m S_i S_i \hat{=} \frac{1}{m} \prod_{i=1}^m S_i^2 \hat{=} \frac{1}{m} \prod_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1$$

Os códigos ortogonais mais comuns usados em aplicações CDMA são os códigos Walsh e em aplicações W-CDMA são as seqüências ortogonais Walsh de tamanho variável, este último também conhecido como OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*) [DINA98] [STAL02] [GARG97]. A Figura 3.12 ilustra a árvore geradora de códigos OVSF.

W-CDMA		
	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
Código de Canalização	Seqüências ortogonais de tamanho variável	Seqüências ortogonais de tamanho variável
Código de Dispersão	10 ms de uma seqüência <i>Gold</i> de $2^{18} - 1$ <i>chip</i> . (um PN comum para todos os usuários de uma célula)	Conjuntos muito grandes de seqüências Kasami. Opcionalmente: 10 ms de uma seqüência <i>Gold</i> de $2^{41} - 1$ <i>chip</i> .

Tabela 3.2. Códigos de expansão em redes W-CDMA [STAL02].

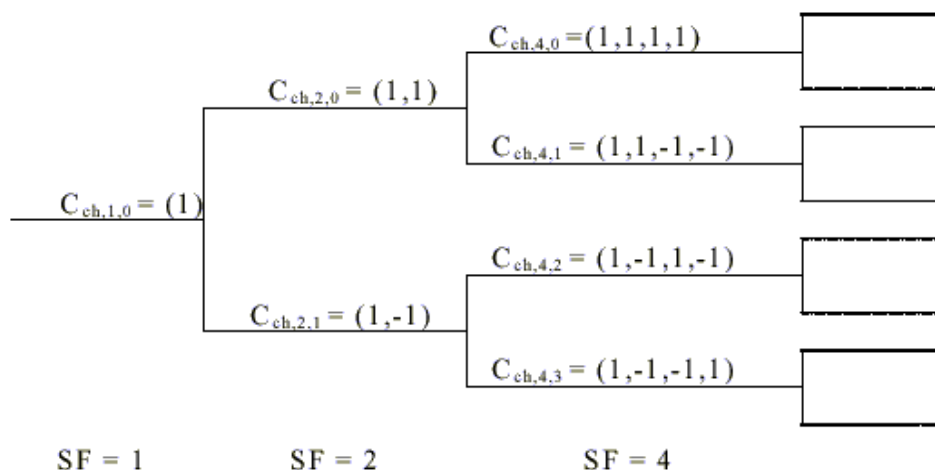


Figura 3.12. Árvore de Código para Geração de Códigos OVSF [DINA98].

O sinal expandido é resultado da multiplicação de uma seqüência pseudo-aleatória longa, a qual é específica para cada célula mas comum para todos os usuários dessas células no *downlink*, e específicas para cada usuário no *uplink*. Os códigos ortogonais curtos são chamados códigos de canalização e as seqüências PN longas são

chamadas de códigos de dispersão [DINA98]. Na Tabela 3.2 estão descritos os parâmetros associados aos códigos utilizados pelo W-CDMA.

Os símbolos mascarados transportam informação sobre o grupo de códigos longos [ROSS02a] ao qual o código longo da estação base pertence. Dessa forma, a estação móvel primeiro procura pelo código de máscara curta e, após achá-lo, inicia a busca pelo código longo entre os códigos, os quais pertencem ao grupo de códigos longos. Inicialmente, um código curto VL-Kasami [DINA98] [STAL02] foi proposto para o *uplink* a fim de facilitar a implementação de Detecção Multiusuário (*Multi-User Detection* - MUD). Nesse caso o código planejado deveria também ser insignificante por causa do número de seqüências VL-Kasami serem mais que um milhão. De qualquer forma, em certos casos o uso de códigos curtos pode levar a péssimas propriedades de correlação, especialmente como fatores de expansão pequenos.

De qualquer modo, se MUD não está sendo usada, a alocação de código adaptativo poderia ser utilizada para trocar o código de expansão assim que propriedades de correlação suficientemente boas sejam restauradas. A ortogonalidade entre os diferentes fatores de expansão pode ser alcançada através de códigos ortogonais estruturados em árvore [OJAN98b].

3.6.3 Taxa de *Chip*

Dada a largura de banda, a taxa de *chip* depende do modo como o espectro é alocado, da taxa de dados desejada, da necessidade de controle de erros, das limitações da largura de banda e da implementação de terminais *dual-mode* (terminais que operam em dois sistemas, TDMA e CDMA, por exemplo). A Figura 3.13 mostra a relação entre taxa de *chip* (*Chip Rate*, CR), fator de *roll-off* do filtro de modelagem de pulso (α) e a separação do canal (Δf). Na Figura 3.13 a separação de canal é escolhida de tal forma que o espectro de dois canais adjacentes não se sobreponham. A separação de canal deveria ser escolhida de forma que pudesse ser alta a diferença de nível de potência entre portadoras adjacentes [OJAN98b].

Por exemplo, para o W-CDMA os parâmetros mínimos para a separação de canais (Δf_{\min}) para não haver sobreposição de portadores é $\Delta f_{\min} = 4.096 * (1 + 0.22) = 4.99712$ MHz. Se a separação de canal é selecionada de tal forma que o espectro de dois canais adjacentes se sobrepõem, alguma potência escapa de uma portadora para a outra, interferência co-canal [ZOU]. De certa forma a sobreposição de portadoras pode ter sua

finalidade, por exemplo, em microcélulas onde a mesma antena é usada para ambas as portadoras.

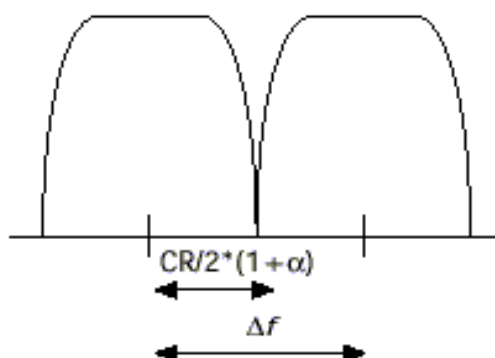


Figura 3.13. Relacionamento entre Taxa de *Chip* (CR), Fator de Roll-Off (α), e Separação do Canal (Δf) [OJAN98b].

Um projeto de terminais *dual-mode* precisa considerar o relacionamento entre as diferentes freqüências de *clock* de formas diferentes. É especialmente importante que o transmissor e o receptor experimentem taxas e a portadora rastreie. Uma seleção adequada dessas freqüências para o padrão facilitaria a implementação de terminais *dual-mode*. As diferentes freqüências de clock em um terminal são normalmente derivadas de um oscilador de orientação comum por divisão direta ou sintetização através do uso de PLL (*Phase Locked Loop*), o uso de PLL irá acrescentar alguma complexidade [OJAN98b]. A taxa de *chip* do W-CDMA foi escolhida baseada principalmente em considerações sobre compatibilidade retroativa com o GSM e PDC [HONK02].

3.6.4 Soluções para Expansão e Modulação

Um circuito complexo de expansão como mostrado na Figura 3.14 ajuda a reduzir média de pico de potência e, assim, melhorar a eficiência da utilização da potência empregada. A modulação da expansão pode ser balanceada ou QPSK de canal-dual. Na expansão QPSK balanceada o mesmo sinal de dado é dividido nos canais I e Q. Na expansão QPSK de canal-dual, o *stream* de símbolos nos canais I e Q são independentes uma da outra. No *downlink*, a modulação de dado QPSK é usada para aproveitar os canais de código. A modulação de dados QPSK permite o uso da mesma seqüência ortogonal em ambos os canais I e Q [OJAN98b].

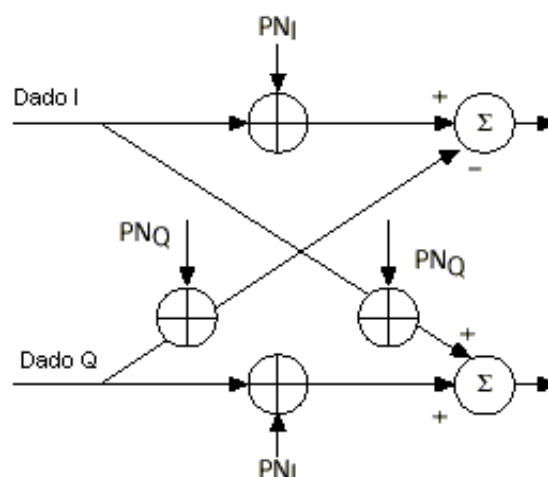


Figura 3.14. Esquema do Mecanismo de Expansão Complexa [OJAN98b].

3.6.5 Taxa Múltipla

O processo de taxa múltipla significa multiplexar diferentes conexões com diferentes requisitos de QoS [MELI00] [BERE02] de uma forma flexível e eficiente de utilização de espectro. A provisão para taxas de dados flexíveis com diferentes requisitos de QoS [MELI00] pode ser dividida em três subproblemas: como mapear diferentes taxas de bits na largura de banda alocada, como fornecer a QoS desejada e como informar o receptor a respeito das características do sinal recebido.

O primeiro problema está relacionado a assuntos como transmissão de múltiplos códigos [MILS00] e expansão variável. O segundo problema está relacionado a esquemas de codificação. O terceiro problema está relacionado a multiplexação do canal de controle e codificação. As propriedades de múltiplos serviços para a mesma seção podem ser multiplexadas no tempo ou no código, como exposto na Figura 3.15. Através dessa implementação alternativa podemos controlar de forma independente a potência e conseqüentemente a qualidade de cada serviço [OJAN98b].

A multiplexação no tempo evita a transmissão de múltiplos códigos, reduzindo dessa forma, o pico médio de potência da transmissão. A segunda alternativa para a multiplexação de serviços [MALO98] é tratar serviços paralelos separadamente, com canais separados para a codificação e *interleaving* [GUEDES], e mapeá-los para diferentes canais físicos de dados em um modelo de múltiplos códigos, como mostrado na parte inferior da Figura 3.15. Através desse esquema alternativo, a potência e conseqüentemente a qualidade de cada serviço pode ser controlada independentemente [PRAS98].

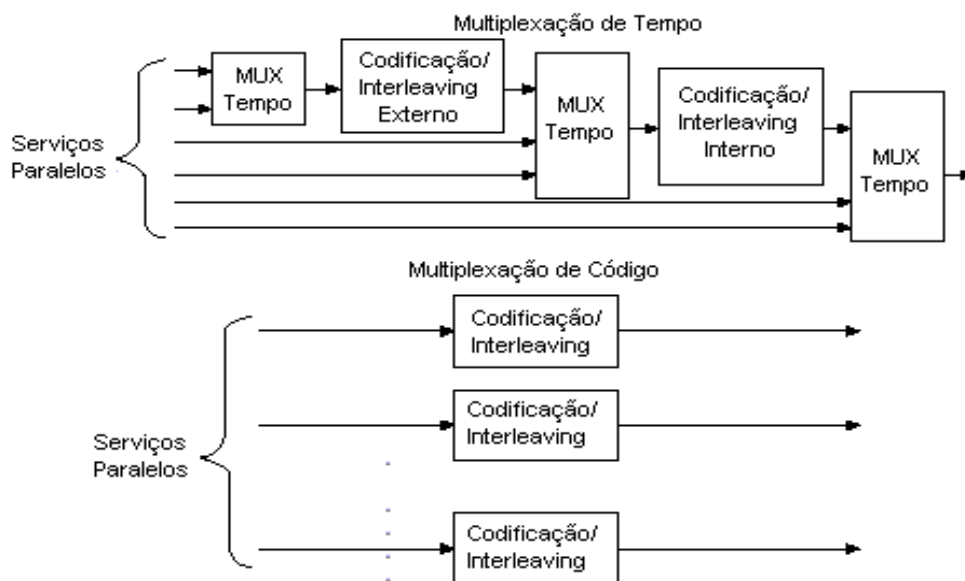


Figura 3.15. Princípios da Multiplexação de Tempo e de Código [OJAN98b].

A estrutura do canal de tráfego do W-CDMA é baseada em uma simples transmissão de código para pequenas taxas de dados e múltiplos códigos para altas taxas de dados. Os serviços múltiplos que pertencem a mesma conexão são, em casos normais, multiplexados no tempo com ilustrado na Figura 3.15. A multiplexação no tempo ocorre após ambas as possíveis codificações externa e interna. Após a multiplexação do serviço e codificação do canal, o *stream* de dados do multiserviço é mapeado para um ou mais canais de dados físicos dedicados. No caso de transmissão de múltiplos códigos, qualquer outro canal de dados é mapeado no canal Q e qualquer outro no canal I [GARG97] (como foi exposto no tópico anterior, Soluções para Expansão e Modulação). A codificação do canal do W-CDMA é baseada nos códigos convolucionais⁶ [STAL02] e concatenados.

Para serviços com $BER = 10^{-3}$ um código convolucional com tamanho 9 e taxas de código diferentes (entre 1/2 e 1/4) são usados. Para atender requisitos de qualidade de serviços cuja $BER = 10^{-6}$ uma concatenação do código convolucional com taxa de 1/3, do código Reed-Solomon e mais *interleaving*⁷ foram propostos [STAL02] [DAHL98]. Tipicamente, o *interleaving* de bloco sobre um *frame* é utilizado. O W-CDMA é também capaz realizar o *interleaving* entre os *frames*, o qual melhora a performance para serviços permitindo longos *atrasos*. Os códigos Turbo⁸ [ADAC98] [STAL02] para serviços de dados

⁶ Código usado para codificação de canal cuja função é implementar correção de erros.

⁷ Técnica que entrelaça os bits de um *frame* a ser transmitido para reduzir os efeitos de desvanecimento prolongado do sinal.

⁸ Código utilizado em sistemas de telecomunicações para implementar correção de erros (Forward Error Correction - FEC).

estão sob estudo. Considerando que a taxa de bit total, após a codificação do canal e a multiplexação de serviço, possa ser quase arbitrária, a compatibilização da taxa (descrita no item 4.4.8.2.1) [UMTS302] [DAHL98] é executada através do procedimento conhecido como *puncturing* (processo de mudança na taxa de um código baseado na intercalação de bits de checagem, veja com mais detalhes em [STAL02]) ou através da repetição de símbolos, os quais podem ser desiguais.

3.6.6 **Soft Handover**

No *soft handover* uma estação móvel está conectada a mais de uma estação base simultaneamente. O *soft handover*, também conhecido como diversidade de localização [SAWA00], é usado no W-CDMA para reduzir a interferência em outras células e melhora a performance através da macro diversidade [MELI00] (isto é, o ganho de diversidade fornecido através da recepção de um ou mais sinais pelo simples fato da estação móvel estar simultaneamente conectada a duas estações base).

O *Softer Handover* é um *soft handover* entre dois setores de uma célula. Células vizinhas de um sistema celular usando ou FDMA ou TDMA não usam as mesmas frequências usadas por uma dada célula (isto é, existe uma separação espacial entre células usando as mesmas frequências). Isto é chamado de conceito de reuso de frequências [GUEDES] [STAL02]. Por causa do ganho de processamento (G_p), tal separação espacial não é necessária no CDMA, e o fator de reuso 1 (um) de frequências pode ser usado [ROSS02b]. O processo de *handover* no W-CDMA será mais complicado que no CDMA de faixa estreita por causa do uso de uma estrutura de células hierárquicas e conexões múltiplas para um único usuário. Onde cada uma das conexões para o usuário deve ser sinalizada para a nova estação base.

Uma forma de fazer *handover* é transferir as conexões uma a uma para a nova estação base, mas isso é ineficiente e pode severamente afetar a QoS. Neste caso, os serviços inativos podem ser desabilitados antes dos serviços ativos e, dessa forma, interromper o fluxo de pacotes [MALO98].

Usualmente, uma estação móvel executa um *handover* quando a potência do sinal de uma célula vizinha excede a potência do sinal da célula atual em um determinado limite. Isto é chamado de *hard handover*. Visto que em um sistema CDMA as frequências de células vizinhas são as mesmas, este tipo de abordagem causaria interferência excessiva nas células vizinhas e assim uma degradação de capacidade.

Para evitar esta interferência, um *handover* instantâneo de uma célula atual para a nova célula deveria ser realizado quando a potência do sinal da nova célula excedesse a potência do sinal da célula atual. Embora isto não seja possível na prática, o mecanismo de *handover* deveria sempre permitir a estação móvel conectar-se em uma célula da qual ela está recebendo com uma potência mais forte (isto é, com a mais baixa perda de caminho). Visto que em um *soft handover* a estação móvel está conectada a duas ou mais estações base, sua potência de transmissão pode ser controlada em conformidade com a célula, da qual a estação móvel recebe com a mais alta potência de sinal. A estação móvel entra no estado de *soft handover* quando a potência do sinal da célula vizinha excede em um certo limite, mas ainda está abaixo da potência do sinal da estação base atual.

Felizmente, a estrutura do sinal do W-CDMA está perfeitamente adaptada para a implementação de *soft handover*. Isto porque no *uplink*, duas ou mais estações base podem receber o mesmo sinal porque o fator de reuso de frequências é 1 (um); e no *downlink* uma estação móvel pode combinar os sinais de diferentes estações base bastando apenas que a estação móvel veja ambos os sinais como componentes *multipath* adicionais. No *soft handover*, os sinais do *uplink* são combinados na rede, e no *downlink* a combinação de sinais é feita nos receptores RAKE da estação móvel [MALO98]. Um canal especial chamado de piloto é usualmente usado para a medida da potência dos sinais para propósitos de *handover*.

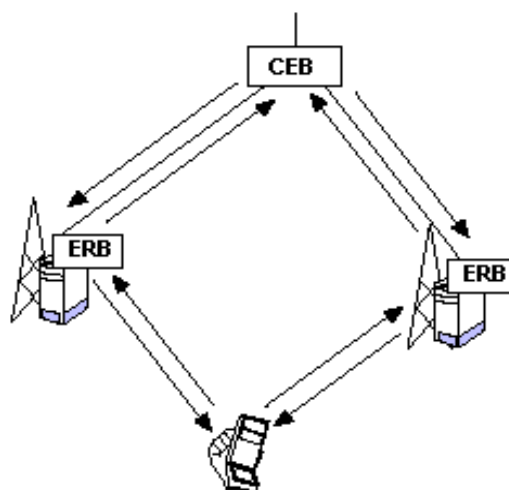


Figura 3.16. Princípio do *Soft-Handover* com Duas Estações Base [PRAS98].

No *downlink*, de qualquer forma, o *soft handover* cria mais interferência para os sistemas visto que as novas estações base agora transmitem um sinal adicional para a estação móvel. É possível que a estação móvel não possa apanhar toda a potência que a estação base transmita devido ao número limitado de RAKE *fingers*. Assim, o ganho de *soft*

handover no *downlink* depende do ganho de macro diversidade e a perda de performance devido ao aumento da interferência. A Figura 3.16 ilustra o princípio do *soft handover* com duas estações base envolvidas.

No *uplink* o sinal da estação móvel é recebido através de duas estações base, as quais, após a demodulação e combinação, transmite o sinal direto para o ponto combinado, tipicamente para o controlador de estação base (BSC). No *downlink* a mesma informação é transmitida via ambas estações base, e a estação móvel recebe a informação de duas estações base como sinais *multipath* separados e podem então combiná-los [PRAS98].

3.6.7 Handover Interfreqüências

A terceira geração de rede CDMA terá múltiplas portadoras de freqüência em cada célula, e uma célula bem pequena pode ter um alto número de freqüências maior que as células vizinhas. Além do mais, em estruturas de célula hierárquica, microcélulas têm uma freqüência diferente das macro-células que cobrem as microcélulas. Então, um procedimento eficiente é necessário para o *handover* entre diferentes freqüências. Um exemplo de estrutura hierárquica de células está ilustrado na Figura 3.17.

Um *handover* cego usado pela segunda geração do CDMA não resulta em uma adequada qualidade de chamada. Em vez disso, a estação móvel tem que estar apta a medir a potência do sinal e a qualidade de uma outra freqüência portadora, enquanto ainda mantém a conexão na freqüência atual. Visto que uma transmissão CDMA é contínua, não existem *slots* vazios para as medidas de interfreqüências como nos sistemas baseados em TDMA [PRAS98].

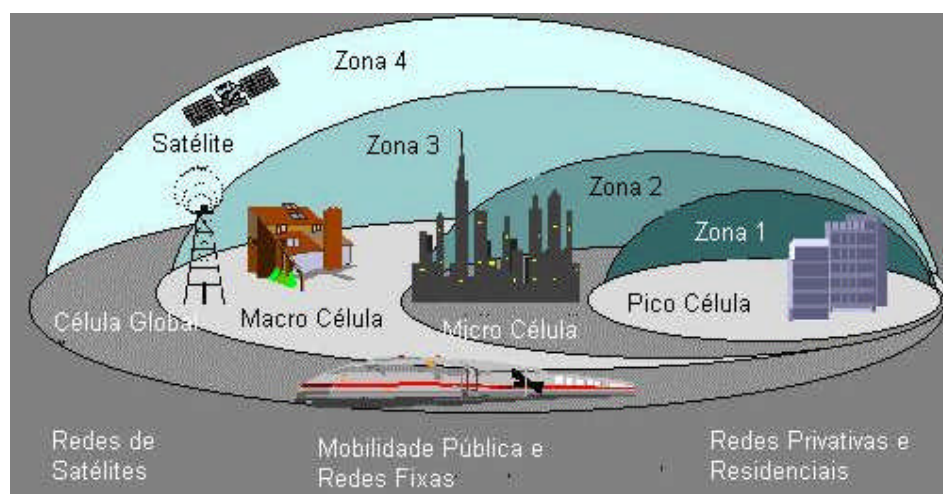


Figura 3.17. Estrutura Hierárquica de Células e Seus Cenários de Mobilidade [MORA00].

O *handover* interfreqüências é necessário para suportar a Estrutura Hierárquica de Células (*Hierarchical Cell Structure* - HCS) com transição entre micro e macrocélulas operando em diferentes freqüências portadoras. Com a introdução de HCS, um sistema celular pode fornecer capacidade muito alta ao sistema através da camada de microcélula, ao mesmo tempo oferecer cobertura completa e suporte a alta mobilidade através da macro-camada. O *handover* interfreqüências é extremamente necessário para que seja possível um *handover* entre as diferentes camadas de células.

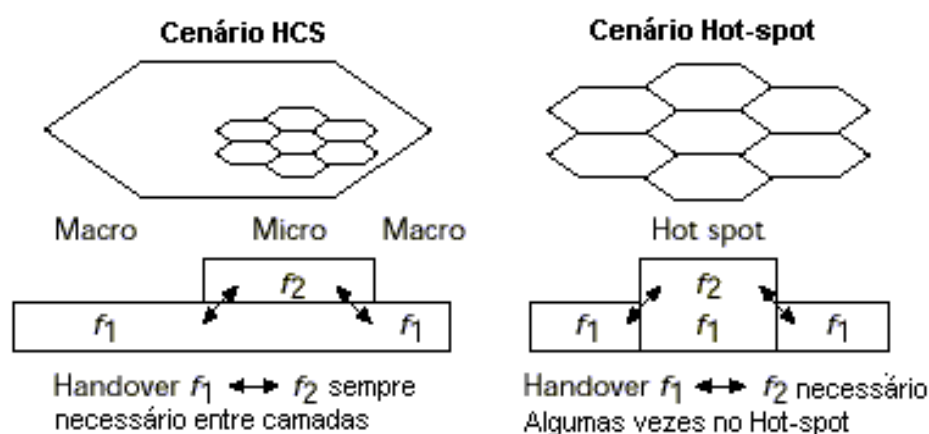


Figura 3.18. *Handover* Inter-freqüências [DAHL98].

Um segundo cenário onde o *handover* interfreqüências é necessário é o cenário *hot-spot*, onde uma certa célula que serve uma área de tráfego alto usa portadoras adicionais em contraposição àquelas usadas pelas células vizinhas. Se o desenvolvimento de portadoras extras é para ser limitado a atual área *hot-spot*, a possibilidade de *handover* interfreqüências é essencial [DAHL98]. Portanto, o modo comprimido e receptor dual têm sido propostos como uma solução para o *handover* interfreqüência. No modo comprimido, *slots* para efetuar métricas são criados a medida em que os dados de um *frame* são transmitidos, por exemplo, empregando uma baixa taxa de expansão durante um curto período de tempo o restante dos *slots* do *frame* podem ser utilizados para realizar medidas em outras portadoras. O receptor dual pode medir outras freqüências sem afetar a recepção da freqüência atual [PRAS98].

3.6.7.1 Modo Segmentado

Para suportar as medidas de *handover* interfreqüências uma conexão W-CDMA pode entrar em um modo segmentado (*slotted*). Durante o modo segmentado, os dados

transmitidos normalmente durante um *frame* de rádio de 10 ms são agora transmitidos em um tempo segmentado, através disso é criando em período de tempo vazio durante o qual a estação móvel receptora está ociosa e assim disponível para medidas de interfrequências (Figura 3.19). O período de tempo ocioso é criado através de redução do fator de expansão ou incremento da taxa de código, e dessa forma não implicando em qualquer perda de dados.

Observe que o modo segmentado é necessário somente para serviços *real-time* de tempo crítico. No caso de serviços não *real-time*, tipicamente serviços de pacotes de dados, um período de tempo ocioso para medidas interfrequência pode facilmente ser criado através de um simples atraso na transmissão do pacote [IECa] [DAHL98].



Figura 3.19. Transmissão no Modo Segmentado [DAHL98].

3.6.8 Detecção Multiusuário

Os receptores CDMA atuais são baseados no princípio do receptor RAKE [STAL02] [PRAS98], o qual considera sinais de outros usuários como interferência. De qualquer forma, em um receptor ótimo todos os sinais deveriam ser detectados juntamente ou a interferência de outros sinais deveria ser removida através da subtração dos mesmos do sinal desejado. Isto é possível porque as propriedades de correlação entre os sinais são conhecidas (isto é, a interferência é determinística e não randômica).

A capacidade de um sistema *direct sequence* CDMA usando um receptor RAKE está limitada a interferência. Na prática isto significa que quando um novo usuário, ou "interferente", entra na rede, outras qualidades de serviço do usuário irão a um nível abaixo de um nível aceitável. Quanto mais a rede possa resistir a interferência mais usuários podem ser servidos. A interferência de acesso múltiplo que provoca distúrbios em uma estação base ou móvel é uma soma de ambas as interferências intra- e inter-célula.

A detecção multiusuário (MUD), também chamada de detecção comum e cancelamento de interferência (IC) [MILS00] [ADAC98] [FALAHA], fornece um meio de

reduzir o efeito da interferência de acesso múltiplo, e portanto aumentar a capacidade do sistema. Em uma primeira instância a MUD é considerada para cancelar somente a interferência intra-célula, significando que em um sistema prático a sua capacidade será limitada pela eficiência do algoritmo e pela interferência inter-célula.

Além do melhoramento da capacidade, a MUD alivia o problema de *near-far* tipicamente para sistemas DS-CDMA [GARG97]. Uma estação móvel próxima a uma estação base pode bloquear a todo o tráfego da célula através do uso de uma potência de transmissão muito alta. Se esse usuário é detectado primeiro e subtraído do sinal do receptor, os outros usuários não enxergam a interferência.

Desde que uma detecção multiusuário ótima seja muito complexa e na prática impossível de ser implementada para qualquer número razoável de usuários, um número de receptores multiusuários quase ideais e receptores de cancelamento de interferência devem ser adotados. Os receptores quase ideais podem ser divididos em duas principais categorias: detectores lineares e cancelamento de interferência. Os detectores lineares aplicam uma transformação linear nas saídas dos filtros combinados que estão tentando remover a interferência de acesso múltiplo (isto é, a interferência devido a correlação entre códigos de usuários). Exemplos de detectores lineares é um decorrelator e detectores LMMSE (*Linear Minimum Mean Square Error*) [MILS00].

No cancelamento da interferência de acesso múltiplo é primeiro estimado e então subtraído do sinal recebido. O cancelamento de interferência paralela (*Parallel Interference Cancellation* - PIC) e serial cancelamento de interferência sucessivo (*Serial Interference Cancellation* - SIC) são exemplos de cancelamento de interferência [PRAS98].

Devido a razões complexas, a MUD não pode ser usada de forma similar no *downlink* como é utilizada no *uplink*. Além disso, a estação móvel é útil somente na demodulação do seu próprio sinal em comparação a estação base, a qual precisa demodular o sinal de todos os usuários. Então, um esquema de supressão de interferência simples poderia ser aplicado na estação móvel. Além do mais, se códigos de expansão curtos são utilizados, o receptor pode aproveitar a "cicloestacionaridade", ou seja, as propriedades periódicas do sinal para suprimir a interferência sem conhecer os códigos que estão provocando a interferência [OJAN98b]

3.6.9 Diversidade de Transmissão

A performance do canal de *downlink* pode ser melhorada através de diversidade de transmissão. Para esquemas DS-CDMA, isto pode ser executado através de divisão do

stream de dados e, por conseguinte, a expansão de dois *streams* resultantes para que as mesmas sejam transmitidas em paralelo usando seqüências ortogonais [OJAN98b]. A diversidade de transmissão empregando diversas antenas em uma estação base pode melhorar a performance de transmissão no *downlink* sem incrementar a complexidade da estação móvel [SAWA00].

Um sistema projetado dessa forma permite claramente a possibilidade de um ganho de diversidade em um canal de *fading*. De qualquer forma, a quantidade de ganho é uma função de uma variedade de parâmetros, incluindo o número de antenas, a correlação dos sinais das antenas distintas no receptor, a expansão *Doppler* no canal, e a largura de banda expandida. Como em qualquer tipo de diversidade, o ganho possível aumenta com o aumento do número de elementos de diversidade.

Um sistema W-CDMA oferece mais diversidade de caminhos que um sistema de banda estreita. Assim, a necessidade por várias antenas de transmissão para dar diversidade espacial ao W-CDMA é menor que em sistemas CDMA de banda estreita [MILS00].

O software WCDMASim para a simulação da camada física do W-CDMA oferece a opção de diversidade de transmissão para os canais de acesso de *downlink*, onde uma simulação pode ser configurada para usar ou não a diversidade de transmissão.

3.6.10 Suporte a Arrays de Antenas Adaptáveis

O W-CDMA suporta utilização total de antenas adaptativas através do uso de símbolos piloto dedicado em ambos os canais de *downlink* e *uplink* [DAHL98]. O *array* de antenas adaptáveis direciona o sinal de rádio nulo para a origem da interferência maximizando a SIR de cada usuário. No sistema de rádio móvel W-CDMA, o *array* de antenas adaptáveis pode ser combinado como o receptor RAKE. Isto é chamado de Receptor RAKE de *array* de antenas adaptáveis (*Coherent Adaptive Antenna Array RAKE Receiver* - CAAAR).

No caso de serviços somente de voz, a aplicação do receptor CAAAR é impraticável devido ao grande número de elementos de antena necessários. O receptor CAAAR é particularmente útil para comunicações multimídia nas quais diferentes usuários estão transmitindo com diferentes taxas de dados.

Os usuários com altas taxas, embora a quantidade não seja grande, causa interferência significativa em usuários como baixas taxas (particularmente, usuários de voz).

Dessa forma, sem um *array* de antenas adaptáveis, a capacidade do *link* em termos de usuários/células/MHz pode ser reduzida de forma significativa [TSOU97].

3.6.11 Modo de Operação Assíncrono da Estação Base

Em contraste com a 2ª geração de sistemas CDMA de banda estreita, o W-CDMA, padronizado pelo ETSI/ARIB, não requer que as estações base estejam perfeitamente sincronizadas. Isto significa, por exemplo, que não existe requisitos para estação base seja capaz de uma recepção confiável de dados de GPS (*Global Positioning System*). Isso irá reduzir significativamente os esforços de desenvolvimento em quaisquer tipos de ambientes, especialmente em ambientes *indoor* [PRAS98]. Portanto, isso afeta a forma de como são implementados a pesquisa de células e a sincronização do *soft handover*. Uma análise sobre o relacionamento entre operação assíncrona de estações base e códigos de expansão descrita em [DINA98] .

3.6.11.1 Pesquisa de Células com Estações Base Assíncronas

A pesquisa de células do W-CDMA é um refinamento do esquema mostrado em [HIGU97]. Para suportar uma pesquisa de células eficiente com operação assíncrona, cada estação base W-CDMA transmite um sinal de sincronização especial de acordo com o ilustrado na Figura 3.20 [DAHL98]. A Figura 3.21 resume os três passos do procedimento de pesquisa de células adotado pelo W-CDMA.

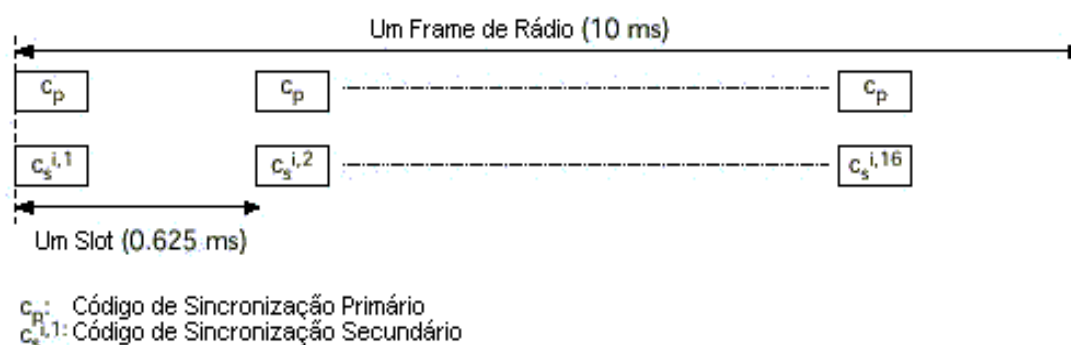


Figura 3.20. Estrutura do Sinal de Sincronização do W-CDMA [DAHL98].

O sinal de sincronização consiste dos dois seguintes sinais transmitidos em paralelo:

- Um código *Gold* ortogonal não modulado transmitido repetidamente com tamanho de 256 *chips*, o código de sincronização primário (*Primary Synchronization Code* - PSC), com um período de um *slot*. O PSC é o mesmo para estação base no sistema e é transmitido alinhado no tempo com o limite do *slot* CCPCH (*Common Control Physical Channel*). Através da detecção do PSC, a estação móvel adquire a sincronização de *slot* para a estação base destino;
- Uma seqüência de tamanho 16, transmitida repetidamente, de códigos *Gold* ortogonais não modulados com o tamanho de 256 *chips*, o código de sincronização secundário (*Secondary Synchronization Code* - SSC), com um período de um *frame*. Cada SSC é escolhido a partir de um conjunto de 17 códigos *Gold* ortogonais diferentes de tamanho 256. Existe um total de 32 possíveis seqüências de SSC que indicam para qual dos 32 diferentes grupos de código o código de dispersão do *downlink* da estação base pertence. As seqüências são construídas de forma que seus deslocamentos cíclicos são únicos, ou seja, um deslocamento cíclico diferente de zero de uma seqüência não é igual a qualquer uma das outras 31 (trinta e uma) seqüências. Conseqüentemente, através da detecção da seqüência SSC a estação móvel não somente determina o grupo de código de dispersão, mas também o timing do *frame* da estação base de destino. Após a detecção do grupo de código de dispersão, a estação móvel pesquisa todos os 16 códigos de dispersão do *downlink*, tipicamente usando correlação símbolo-a-símbolo sobre o CCPCH primário de taxa fixada.

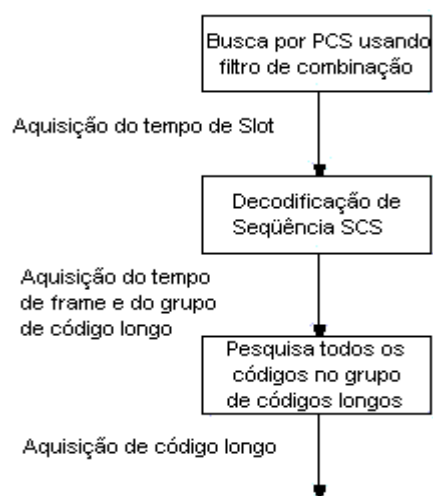


Figura 3.21. Pesquisa de Células em Três Etapas do W-CDMA [DAHL98].

3.6.11.2 *Soft Handover* com Estações Base Assíncronas

Embora as estações base do W-CDMA sejam geralmente mutuamente assíncronas, a sincronização entre estações base em um nível de conexão é necessário no caso de *soft handover*. A sincronização do *soft handover* é realizada através dos seguintes passos:

- A partir da pesquisa de células, a estação móvel pode estimar o *offset* de temporização entre o canal dedicado de *downlink* da estação base atual e o CCPCH primário da estação base destino;
- O *offset* de temporização estimado é transferido para a estação base destino usando o atual link com a antiga estação base;
- A estação base de destino usa o *offset* de temporização estimado para ajustar a temporização do novo canal dedicado de *downlink* relativo a esse do CCPCH primário. O ajuste é realizado em passos de 256 *chips* para preservar a ortogonalidade de transmissão do *downlink* da estação base de destino;
- Devido a um *offset* fixado de forma aproximada entre a temporização do *frame* do *downlink* e *uplink*, a estação base de destino pode, a partir do *offset* de temporização estimado, estimar a temporização aproximada do canal físico dedicado do *uplink* para a recepção.

3.6.12 Detecção Coerente no *Uplink* e *Downlink*

A detecção coerente irá melhorar a performance do *uplink* até 3 dB comparada a detecção não-coerente usada pelos sistemas CDM (*Code Division Multiplex*) de 2ª geração. Para facilitar a detecção coerente um sinal piloto é necessário. A melhora na performance atual depende da proporção da potência do sinal piloto em relação a potência do sinal de dado. No *downlink*, símbolos piloto multiplexados no tempo são usados para detecção coerente. Desde que os símbolos piloto estejam dedicados aos usuários, eles podem ser usados para estimar o canal com antenas adaptativas, também [OJAN98b].

3.6.13 Canal Piloto Adicional no *Downlink* para Direcionamento

O canal piloto adicional facilita a implementação de antenas adaptáveis para direcionamento da transmissão visto que o sinal piloto usado para estimativa do canal precisa ser transportado através do mesmo caminho do sinal de informação. Então, um canal piloto transmitido através de uma célula com antena omini, não pode ser usado para

estimativa de canal de um sinal de dado transmitido através de uma antena adaptável [OJAN98b].

3.6.14 Comutação de Pacotes

O W-CDMA oferece dois tipos diferentes de transmissão de pacotes de dados, os quais encaminham dados via:

- **Explosão de Acesso Randômico**

Os pacotes de dados pequenos podem ser anexados diretamente a uma explosão de acesso randômica, usando o canal de acesso randômico comum de *uplink* (RACH) [DAHL98]. Este método, chamado de transmissão de pacotes de canal comum, é usado para pacotes curtos e pouco frequentes, onde a manutenção de um link necessário para um canal dedicado poderia resultar em um *overhead* inaceitável [OJAN98b]. Também, o atraso associado a transferência em um canal dedicado é evitado. Pacotes grandes ou mais frequentes são transmitidos em um canal dedicado [PRAS98].

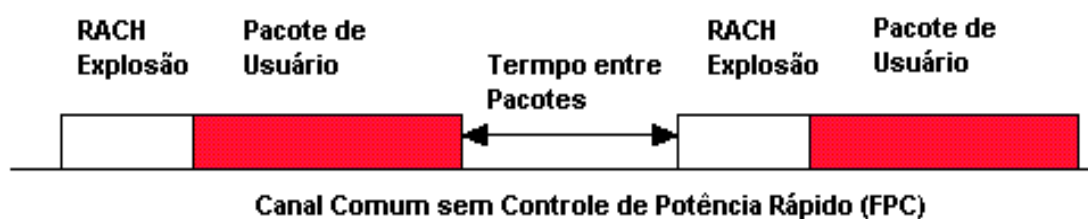


Figura 3.22. Transmissão de Pacotes sobre um Canal Comum [PRAS98].

Observe que para transmissões de pacotes no canal comum somente o controle de potência de *loop* aberto está operando, portanto, transmissões de pacote de canal comum deveriam ser limitadas a pacotes curtos, pois os mesmos usam uma capacidade limitada de recursos. A Figura 3.22 ilustra a transmissão de pacotes em um canal comum.

- **Canal Dedicado**

Nesse mecanismo de transmissão a estação móvel envia uma requisição de acesso a um recurso, indicando que tipo de tráfego será transmitido. Então, a rede analisa a requisição e envia uma mensagem de resposta via o canal de transporte FACH (canal comum de downlink), onde o conteúdo da mensagem informa sobre o conjunto do formato de transporte a ser utilizado e a especificação do canal

dedicado para ser utilizado na transmissão de pacotes. Então, a estação móvel utilizará o DCH para transmitir o dado [DAHL98]. O método de transmissão via canal dedicado utiliza dois esquemas para transmissão de pacotes:

- o **Esquema de Pacotes Simples**

Neste esquema os pacotes grandes ou mais freqüentes são transmitidos em um canal dedicado, e o canal é liberado imediatamente após o pacote ter sido transmitido.

- o **Esquema de Pacotes Múltiplo**

Em um esquema denominado de “multipacote” o canal dedicado é mantido para a transmissão de pacotes subseqüentes através do controle de potência de transmissão e da informação de sincronização transmitida entre os pacotes subseqüentes. A explosão de acesso randômico do W-CDMA é de longos 10 ms, transmitidos com potência fixa, e o princípio de acesso é baseado no esquema Aloha Slotted [OJAN98b] [PRAS98].

Mais detalhes sobre esses esquemas veja [PRAS00], [MILS00], [FALAHA] [SARI00] [ADAC98] e [MONT02]. No capítulo seguinte será apresentada uma abordagem especificamente técnica a respeito do tráfego de dados, oriundos das camadas superiores, sobre a interface de rádio do W-CDMA, além da descrição das regras e do processo de compatibilização de unidades de dados de protocolo de camadas superiores em PDUs das camadas de enlace e física do UMTS.

Capítulo 4.0

Arquitetura da Interface de Rádio do W- CDMA

Este capítulo descreve os detalhes da interface de rádio do *Wideband Code Division Multiple Access*, detalhando as características e funcionalidades das duas principais camadas, e suas subcamadas, que compõem a descrição da interface de rádio. As camadas abordadas neste capítulo são as seguintes: camada física e camada de enlace de dados, onde esta última está dividida nas subcamadas: MAC (*Medium Access Control*), RLC (*Radio Link Control*), PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) e BMC (*Broadcast/Multicast Control*).

4.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é descrever a arquitetura da pilha de protocolos da interface de rádio do UMTS que utiliza o W-CDMA como método de acesso múltiplo a interface de rádio especificada pelo UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*). A pilha de protocolos é dividida em três camadas: física, enlace de dados e rede. No entanto, o foco desse capítulo está concentrado nas duas camadas responsáveis pelo tráfego de informações no UMTS, que são a camada física e a camada de enlace de dados.

No topo da pilha está a camada de rede a qual é responsável pela configuração e gerenciamento das camadas inferiores que definem a interface de rádio além de executar outras funções tais como *broadcast* de informações de controle, estabelecimento e gerenciamento de conexão, roteamento de PDUs, controle de QoS, além da contabilização de diversas informações e métricas fornecidas pelas camadas inferiores [UMTS301] [UMTS331]. Portanto, sua função principal é o controle dos recursos e gerenciamento da interface de rádio, e todas as funções relacionadas ao tráfego de informações são executadas pelas duas camadas inferiores.

A interface de rádio do UMTS é formada por um conjunto de canais de tráfego de voz e/ou dados classificados de acordo com alguns critérios tais como canais físicos, lógicos ou de transporte, canais dedicados e comuns. Cada tipo de canal foi especificado com uma finalidade que está diretamente relacionada ao tipo de tráfego associado ao canal e como o tráfego é encaminhado através do canal. Os canais da interface de rádio do UMTS, além de simplesmente transportarem informações, funcionam, também, como pontos de comunicação entre as camadas que compõem a interface de rádio viabilizando o gerenciamento de toda a infra-estrutura do sistema de telefonia móvel do UMTS[UMTS301].

A descrição e o estudo da interface de rádio do W-CDMA/UMTS são essenciais a este trabalho de pesquisa, pois serão construídos alguns cenários para a simulação e análise do comportamento do tráfego de dados sobre a interface de rádio do W-CDMA, onde o objetivo é avaliar o impacto, na performance do encaminhamento do tráfego, através de modificações na estrutura, organização e associação entre os canais de tráfego do W-CDMA.

Os cenários para as simulações serão construídos utilizando a ferramenta de simulação WCDMASim, cuja configuração requer o conhecimento detalhado da estrutura dos canais físicos, lógicos e de transporte, das associações entre estes canais, do tipo e de como as informações são transportadas e como estes canais são gerenciados.

Portanto, este capítulo representa uma contribuição substancial para o entendimento da complexa estrutura de canais da interface de rádio do W-CDMA e, por conseguinte, fornece subsídios para facilitar o entendimento e, conseqüentemente, a configuração da ferramenta de simulação adotada para a especificação dos cenários da simulação.

4.2 Visão Geral da Arquitetura do UMTS

A arquitetura de rede do UMTS tem como componentes o centro da rede (*Core Network - CN*), a UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) e o equipamento do usuário muito comumente referenciado como terminal móvel. As duas mais importantes interfaces são a Iu, interface entre a UTRAN e o centro da rede, e a Interface de rádio (Uu) entre a UTRAN e o terminal móvel. Uma visão geral da arquitetura da UTRAN está ilustrada na Figura 4.1. A UTRAN é formada por diversos subsistemas de rede de rádio (*Radio Network Subsystems - RNS*). Todos os RNSs estão conectados via uma conexão que parte do RNC (*Radio Network Controller*) de cada RNS. Essa conexão torna mais fácil a execução de procedimentos que não dependem do centro da rede entre diferentes RNSs, assim como procedimentos associados à mobilidade tal como o *soft handover*, por exemplo.

Dessa forma, funções específicas da tecnologia de acesso aos canais de rádio são mantidas do lado de fora do centro da rede. O RNS é também dividido em RNC (*Radio Network Controller*) e em diversas estações base. Diversas estações base estão conectadas ao RNC via interface de rádio. Assim uma estação base pode servir a uma ou múltiplas células.

A estrutura da pilha de protocolos da interface de rádio está focada em uma estrutura de camadas onde as camadas especificadas são três: a camada física (L1), camada de enlace de dados (L2) e camada de rede (L3) como está ilustrado na Figura 4.2. A camada de enlace de dados está dividida em quatro subcamadas: controle de acesso ao meio (*Medium Access Control - MAC*), controle do link de rádio (*Resource Link Control - RLC*), controle de *broadcast/multicast* (*Broadcast/Multicast Control - BMC*) e protocolo de convergência de dados em pacotes (*Packet Date Convergence Protocol - PDCP*).

A camada de rede contém a unidade de controle de recursos de rádio (*Radio Resource Control - RRC*) onde a mesma é responsável pela sinalização no plano de controle (plano-C) entre a UTRAN e a estação móvel. É também de sua responsabilidade o controle da disponibilidade dos recursos do rádio. Isso inclui a associação, reconfiguração, e

liberação dos recursos do rádio, assim como, o controle contínuo das requisições de nível de QoS. [SARI00] [HAAR00].

O UTRA fornece acesso eficiente a serviços multimídia e suporte para implementação de diversos serviços com garantia de *roaming* entre outros sistemas especificados pelo IMT-2000. Dessa forma, o UTRA possibilita a implementação de serviços personalizados com as mesmas características em diferentes ambientes (ambiente *home virtual*) [HAAR00].

4.3 Arquitetura da Camada Física

Este tópico descreve os detalhes técnicos da interface aérea do UMTS/W-CDMA. A descrição está primariamente focada na camada física. Posteriormente serão abordados alguns aspectos relativos a camada de enlace de dados e às suas subcamadas. A descrição abordada neste trabalho de pesquisa está focada no modo FDD (*Frequency Division Duplex*) do conceito UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*) definido pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) e 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*).

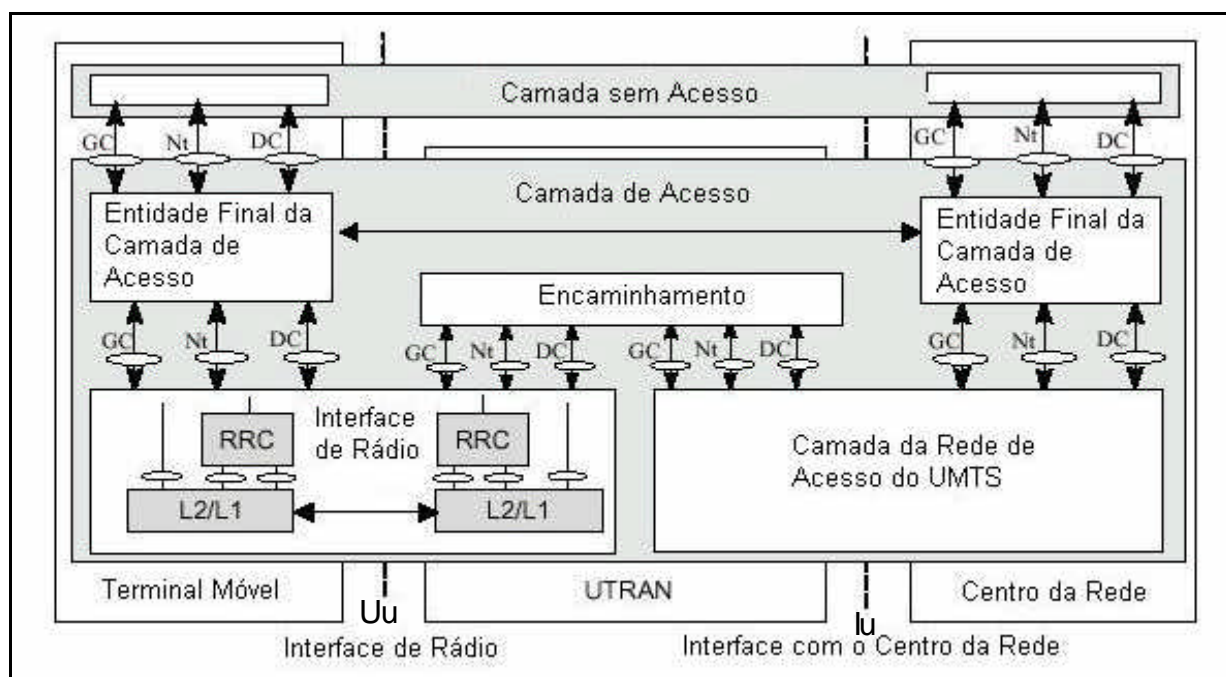


Figura 4.1. Arquitetura do UMTS [UMTS301].

Deve ser observado que os detalhe principais dentre os detalhes técnicos descritos durante o capítulo estão ainda sob considerações e podem ser modificados durante a fase de refinamento, em andamento, do trabalho de especificação da interface aérea do W-

CDMA dentro do ETSI. Isso é especialmente verdade para as camadas de protocolo de níveis superiores que não são parte integrante da definição inicial do UTRA [DAHL98] (vide Figura 4.1).

O esquema do W-CDMA foi desenvolvido através de um esforço conjunto entre ETSI e ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) durante a segunda metade de 1997. O esquema W-CDMA do ETSI foi desenvolvido com base no esquema europeu, de acesso a interface de rádio, FMA2 e no W-CDMA da ARIB que definiu o esquema japonês conhecido como Core-A. Conclusão, a especificação do esquema W-CDMA resultante da parceria ETSI/ARIB está definida de forma que o *uplink* de W-CDMA é baseado principalmente no FMA2 e o *downlink* é baseado no esquema Core-A [HAAR00] [PRAS98].

A interface de rádio refletida no W-CDMA/UMTS definida pelo ETSI está situada no ponto Uu (Interface de Rádio) entre o equipamento do usuário (terminal móvel) e a UTRAN [UMTS201] como está exposto na Figura 4.1. A camada física especifica todos os parâmetros e mecanismos necessários para a transmissão do sinal gerado, utilizando a interface aérea, através da técnica de expansão de espectro de seqüência direta (DSSS) [SARI00].

A Figura 4.2 mostra a arquitetura de protocolos da interface de rádio UTRA em torno da camada física. Os círculos entre as diferentes camadas indicam os Pontos de Acesso de Serviços (*Services Access Points* - SAPs) que são a interface na fronteira entre as duas camadas, estes pontos de acesso estão indicados com mais precisão, através dos pontos GC, Nt, DC, na Figura 4.1.

A camada física oferece a camada MAC canais denominados de canais de transporte. Diferentes canais de transporte são oferecidos à camada MAC onde os mesmos são caracterizados pela forma **como** a informação é transferida sobre a interface de rádio. Por conseguinte, a camada MAC oferece vários canais lógicos para a camada RLC. Um canal lógico é caracterizado pelo **tipo** de informação que é transferida através do mesmo.

O UMTS/ETSI especifica dois modos de multiplexação, a Multiplexação por Divisão de Frequência (*Frequency Division Duplexing* - FDD) e a Multiplexação por Divisão de Tempo (*Frequency Division Duplexing* – TDD). Modo FDD é utilizado pelo padrão W-CDMA e o modo TDD é utilizado pelo padrão TD-CDMA, ou seja, o UMTS, como já citado anteriormente, define dois padrões o W-CDMA e o TD-CDMA.

Dessa forma, o padrão abordado por este trabalho de pesquisa é o W-CDMA, portanto, todos os parâmetros e especificações estarão unicamente relacionados ao modo FDD do UMTS. No modo FDD, o canal físico é caracterizado pelo código, frequência, e no *uplink*, pela fase relativa dos canais I e Q [UMTS201].

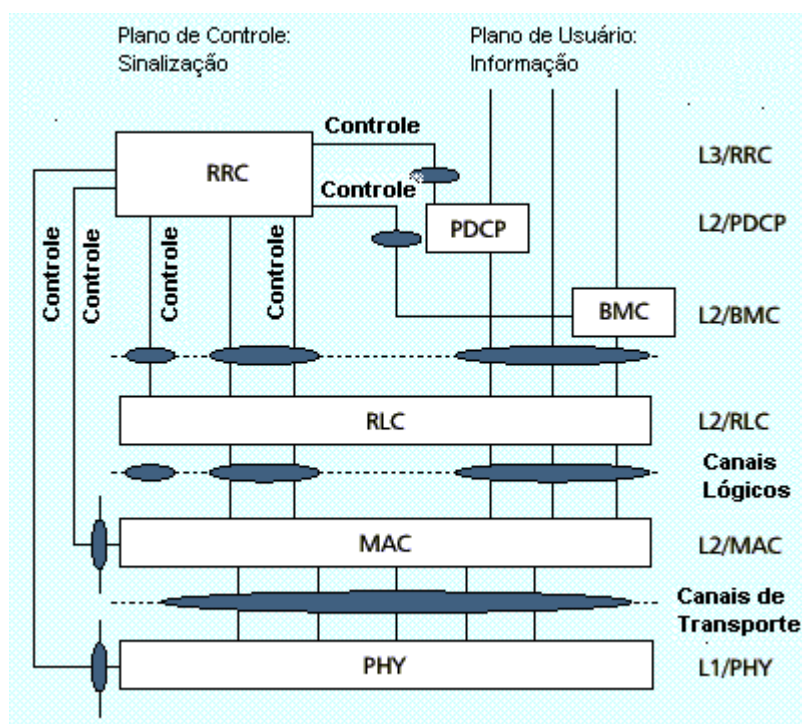


Figura 4.2. Arquitetura dos Protocolos da Interface de Rádio [HAAR00].

4.4 Parâmetros Básicos da Camada Física

Neste tópico serão definidos os principais parâmetros associados à implementação e funcionamento da camada física do W-CDMA, bem como procedimentos realizados pela camada física, métricas, serviços oferecidos às camadas superiores, e especificação dos canais de transporte descrevendo suas funções e serviços disponibilizados.

A camada física é responsável pela transmissão de blocos de transporte sobre a interface aérea. Isso inclui correção de erros (*Forward Error Correction - FEC*), multiplexação de diferentes canais de transporte sobre os mesmos recursos físicos, compatibilização de taxa, modulação, expansão e processamento de rádio frequência.

A detecção de erros também é executada pela camada física e sinalizadas para as camadas superiores. A disponibilidade dos recursos de indicação de erros na camada física é importante para a implementação de protocolos de redundância incremental.

4.4.1 Acesso Múltiplo a Interface Aérea

O esquema de acesso que viabiliza o acesso de múltiplas estações ao mesmo canal da interface aérea é o CDMA de seqüência direta (DS-CDMA), o qual expande o sinal que transporta a informação por um canal de largura de banda de 5 MHz e, por isso, é

comumente denominado de CDMA de banda larga (*Wideband CDMA*). O W-CDMA através da técnica de FDD separa os canais em canais de *uplink* e de *downlink* para que os mesmos possam utilizar diferentes frequências de rádio. O padrão W-CDMA é designado para operar em cada um dos seguintes pares de bandas [SARI00]:

- 1920-1980 MHz: *uplink*, 2110-2170 MHz: *downlink*;
- 1850-1910 MHz: *uplink*, 1930-1990 MHz: *downlink*.

O UTRA/FDD é baseado no CDMA de banda larga com taxa básica de *chip* na ordem de 4.096 Mchips/s, correspondendo a uma largura de banda de aproximadamente 5 MHz. Outras taxas de *chips*, tais como 8.192 e 16.384 Mchips/s, também são definidas. Estas taxas de *chips* foram especificadas para oferecer suporte a futura evolução da interface aérea do W-CDMA em direção a taxas de dados mais altas (> 2 Mbps) [UMTS201] [DAHL98].

O tamanho do *frame* básico de rádio é de 10 ms, propiciando diálogos com baixo atraso e mensagens de controle rápido [DAHL98]. O *frame* de rádio é dividido em 15 *slots* (2560 *chips/slot* a uma taxa de *chip* de 3.84 Mcps). Um canal físico na camada física é então definido através de um ou mais códigos. A taxa de informação do canal varia com a taxa de símbolos sendo derivada da taxa de *chip* de 3.84 Mcps e do fator de expansão. Os fatores de expansão são de 256 a 4 no *uplink* e de 512 a 4 no *downlink*. Dessa forma, a respectiva taxa de símbolos de modulação varia de 960 k símbolos/s a 15 k símbolos/s (7.5 k símbolos/s) no *uplink* e *downlink* [UMTS201] [HAAR00].

As frequências das ondas portadoras do W-CDMA estão localizadas em um conjunto de portadoras na faixa de 4.2 a 5.4 MHz, com separação típica entre as portadoras na faixa de 200 kHz. Este espaçamento flexível entre portadoras viabiliza a otimização do espaçamento entre portadoras para diferentes cenários de desenvolvimento e ambientes de mobilidade e para obter uma adequada proteção entre canais adjacentes, onde este último fator depende, também, do cenário de interferência [PRAS98]. A Figura 3.17 apresenta uma estrutura hierárquica de células e alguns ambientes de mobilidade.

Por exemplo, um espaçamento entre portadoras amplo é o espaçamento típico necessário entre portadoras em diferentes camadas de células como indicado na Figura 4.3, comparado ao espaçamento entre portadoras necessário entre portadoras de uma mesma camada de células.

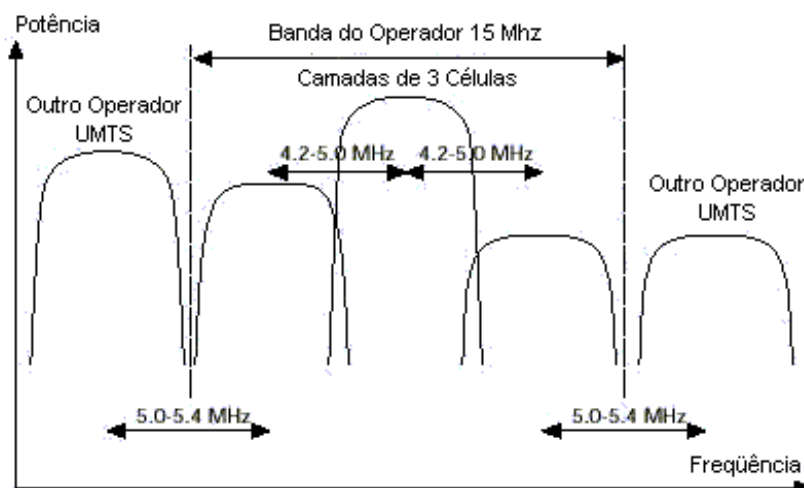


Figura 4.3. Utilização das Bandas de Frequência com o W-CDMA [PRAS98].

Espaçamentos mais amplos entre portadoras podem ser aplicados entre operadoras diferentes que estão dentro de uma mesma banda de operadoras para evitar a interferência inter-operadoras [UMTS201] [DAHL98].

4.4.2 Acesso Randômico

O acesso randômico do W-CDMA é baseado no esquema *Slotted Aloha* (para mais detalhes sobre o *Slotted Aloha* vide [TANE96]) onde uma explosão de acesso randômico pode ser transmitida em diferentes *slots* de acesso, separados por intervalos de tempo de 1,25 ms como está ilustrado na Figura 4.4. A Figura 4.5 mostra a estrutura de uma explosão de acesso randômico do W-CDMA. Ela consiste de duas partes principais, cabeçalho e mensagem. O cabeçalho conhecido como assinatura de acesso randômico é formado por uma longa seqüência de 16 símbolos complexos, expandida por um código de cabeçalho específico da célula de tamanho de 256 *chips*.

A parte da mensagem é dividida em parte de dados e parte de controle similar ao *uplink* DPDCH e DPCCH⁹, respectivamente. A parte de controle é formada pelos conhecidos *bits* piloto para estimativa de canal e um indicador do formato de transporte (*Transport Format Indicator* - TFI) o qual indica a taxa de *bits* da parte de dados da explosão de acesso randômico. Dessa forma, o esquema de acesso randômico do W-CDMA suporta mensagens de acesso randômico a taxa de dados variável.

⁹ Canais físicos que transportam dados e informações de controle da estação móvel para a estação base.

Entre o cabeçalho e a mensagem existe um período de tempo ocioso com o intervalo de 0,25 ms (valor inicial). O período de tempo ocioso permite a detecção da parte de cabeçalho e o posterior processamento *on-line* da parte de mensagem. Antes de uma requisição de acesso randômico ser processada, a estação móvel deve adquirir as seguintes informações do BCCH (*Broadcast Control Channel*) da célula de destino [DAHL98]:

- Os códigos de expansão específicos da célula disponíveis para as partes de cabeçalho e mensagem;
- A assinatura e *slots* de acesso disponíveis na célula;
- Os fatores de expansão permitidos para a parte de mensagem;
- O nível de potência transmitida do CCPCH¹⁰ (*Common Control Physical Channel*) primário, e
- O nível de interferência do *uplink* na estação base.

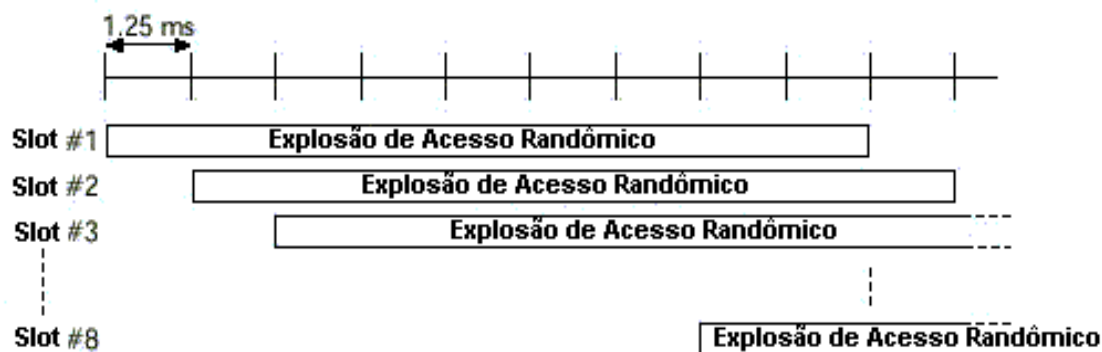


Figura 4.4. Estrutura de Acesso Randômico do W-CDMA [DAHL98].

As ações executadas durante a requisição de acesso randômico são as seguintes [DAHL98]:

1. A estação móvel seleciona o código de expansão para ser usado nas partes de cabeçalho e mensagem. A estação móvel também seleciona o fator de expansão, isto é, a taxa de dados do canal, para a parte de mensagem;
2. A estação móvel seleciona randomicamente a assinatura e o *slot* de acesso para ser usado na explosão de acesso randômico;
3. A estação móvel estima a perda de caminho (*path loss*) no *downlink* e calcula a potência necessária para transmissão no *uplink* a ser usada para a explosão de acesso randômico;
4. A estação móvel transmite a explosão de acesso randômico, e

¹⁰ Canal físico de *downlink* que encaminha, via interface de rádio, canais de transporte que por sua vez transportam informações de controle e indicadores.

5. A estação móvel aguarda por um reconhecimento sobre um FACH do *downlink* correspondente. Se o reconhecimento não é recebido dentro de um período de tempo predefinido (*timeout*), o procedimento de acesso randômico do passo 2 é repetido.

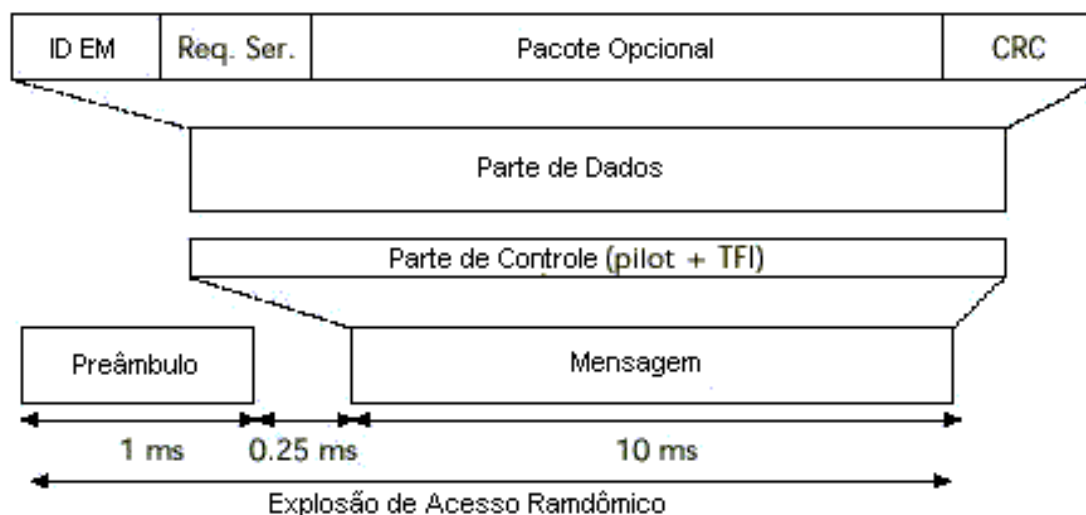


Figura 4.5. Estrutura de Explosão de Acesso Randômico do W-CDMA [DAHALL98].

4.4.3 Codificação do Canal e *Interleaving*

Para a codificação do canal o W-CDMA suporta duas opções:

- Codificação convolucional, e
- Codificação Turbo.

A seleção do tipo de codificação de canal a ser utilizada é indicada pelas camadas superiores assim como a RRC, por exemplo. Para distribuir erros de transmissão de forma randômica a técnica de *interleaving* de *bits* é implementada [UMTS201]. Para mais detalhes sobre a técnica de *interleaving* consulte [GUEDES] e [STAL02].

4.4.4 Modulação e Expansão

O esquema de modulação no W-CDMA é o QPSK (*Quaternary Phase Shift Keying*). Embora para transmissão de alguns canais assim como o HS-DSCH¹¹, (*High-Speed Downlink Shared Channel*), a técnica de modulação 16QAM também possa ser empregada.

¹¹ Canal de *downlink* de alta velocidade compartilhado por diversas estações móveis para alocação de códigos de expansão individuais.

De acordo com a natureza do CDMA o processo de expansão do sinal da informação está intimamente relacionado com a modulação.

No W-CDMA diferentes classes de códigos de expansão são usadas para expandir o sinal [UMTS201]:

- Para separar canais da mesma origem, os códigos de canalização derivam da estrutura de árvore de código;
- Para a separação de diferentes células (estações base) são utilizadas seqüências *Gold* com período de 10 ms (38400 *chips* ou 3.84 Mcps) e de tamanho $2^{18} - 1$ *chips*;
- Para separar diferentes estações móveis são utilizadas seqüências *Gold* com período de 10 ms ou alternativamente períodos de código de 256 *chips*.

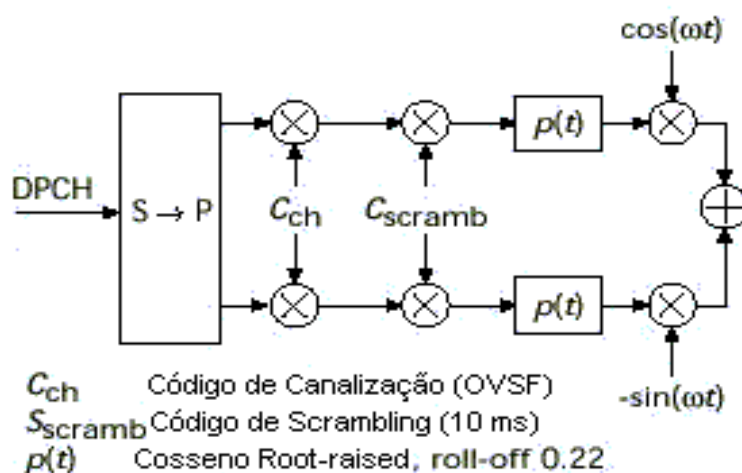


Figura 4.6. Expansão e Modulação do *Downlink* [DAHL98].

A Figura 4.6 ilustra o processo de expansão e modulação do canal físico dedicado do *downlink*. A modulação de dados é a QPSK, isto é, um par de *bits* é expandido para a taxa de *chip* usando o mesmo código de canalização (expansão binária PSK, BPSK) e subseqüentemente disperso através de um código de dispersão real específico da célula (dispersão BPSK). Diferentes canais físicos na mesma célula usam diferentes códigos de canalização. Diversos canais físicos de *downlink* podem ser transmitidos em paralelo sobre uma conexão, usando diferentes códigos de canalização para alcançar altas taxas de *bits* no canal (transmissão multicódigo).

Os códigos de canalização são códigos OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*) algumas vezes referenciados como códigos Walsh estão definidos em [ADAC97] e [DAHL98]. Os códigos OVSF preservam a ortogonalidade de transmissão mútua entre

diferentes canais físicos de *downlink*, mesmo se eles usam fatores de expansão diferentes e assim ofereçam diferentes taxas de *bits* por canal, ou seja, o OVSF diferencia as conexões dos terminais móveis em uma mesma célula.

No *uplink* o OVSF separa dados do usuário, de dados de controle em um mesmo terminal [UMTSWR]. O uso de códigos OVSF é um fator chave no alto grau de flexibilidade de serviço da interface aérea do W-CDMA. O código de dispersão do *downlink* é um código pseudo-randômico de tamanho 40.960 *chips* (10 ms). Existe um total de 512 códigos de dispersão diferentes disponíveis no sistema, exigindo pouquíssimos requisitos em termos de alocação explícita de código de dispersão entre as células. Para suportar busca eficiente de células, os códigos de dispersão do *downlink* são divididos em 32 grupos, cada um consistindo de 16 códigos.

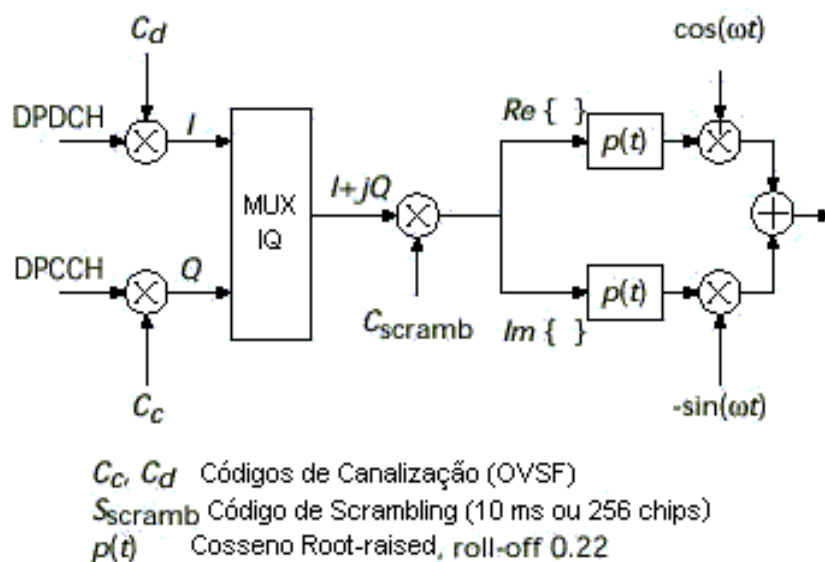


Figura 4.7. Expansão e Modulação do Canal de *Uplink* [DAHL98].

A Figura 4.7 ilustra a expansão e modulação para os canais físicos dedicados do *uplink*. A modulação de dados é QPSK dual-canal, isto é, os canais I e Q são usados como dois canais BPSK independentes. Para o caso de um simples DPDCH (*Uplink Dedicated Physical Data Channel*), o DPDCH e o DPCCH (*Uplink Dedicated Physical Control Channel*) são expandidos através de dois diferentes códigos de canalização e transmitidos sobre as ramificações I e Q, respectivamente. Se mais de um DPDCH está para ser transmitido, os DPDCHs adicionais podem ser transmitidos sobre a ramificação I ou sobre a ramificação Q usando códigos adicionais de canalização (transmissão multicódigo). O sinal total expandido $I + jQ$ é subseqüentemente disperso de forma complexa através de um código de dispersão complexa de conexão específica.

Os códigos de canalização do *uplink* são do mesmo tipo dos códigos OVSF usados para o *downlink* para garantir a ortogonalidade da transmissão do DPDCH/DPCCH, ou seja, separar as transmissões de dados e de controle de um mesmo terminal móvel. O código de dispersão do *uplink* é normalmente um código pseudo-ruído de tamanho 40,960 *chips* (10 ms). De qualquer forma, uma opção é a utilização de um curto (256 *chips*) ou um longo código Kasami como código de dispersão.

Um código curto de dispersão é usado na requisição do sistema para suportar baixa complexidade da detecção multiusuário na estação base [DAHL98]. Consulte [UMTS213] para obter mais detalhes sobre modulação e expansão. A Tabela 3.2 mostra os diferentes tipos de códigos utilizados pelo W-CDMA.

4.4.5 Procedimentos da Camada Física

Existem diversos procedimentos da camada física que são executados no W-CDMA. Tais procedimentos definidos pela descrição da camada física são [UMTS201]:

- Operação de pesquisa de células;
- Controle de sincronização do *uplink* com *loop* aberto e fechado;
- Acesso randômico, e
- Procedimentos definidos para transmissão do HS-DSCH.

A transmissão do HS-DSCH é essencial pois as estações obtêm seus códigos de acesso através do acesso a esse canal.

4.4.6 Métricas Realizadas pela Camada Física

As características inerentes a interface de rádio incluindo FER (*Forward Error Correction*), SIR (*Signal/Interference Ratio*), medidas de interferência, e etc, são contabilizadas e reportadas para as camadas mais altas da rede principalmente para a RRC como está ilustrado na Figura 4.2. Algumas métricas são [UMTS201]:

- Medidas de *handover* para o processo de *handover* dentro do UTRA. De forma que o timing entre as células possa ser ajustado para que as mesmas suportem o *soft handover* assíncrono;
- Procedimento de dimensionamento para preparação do *handover* para sistemas GSM1900/GSM1800, e

- Procedimento de dimensionamento na estação móvel antes do processo de acesso randômico.

Para maiores detalhes sobre as métricas realizadas pela camada física consulte [UMTS215].

4.4.7 Serviços e Funções da Camada Física

A camada física oferece serviços de transporte de dados para as camadas superiores. O acesso a esses serviços é através do uso de canais de transporte via camada MAC. As características dos canais de transporte são definidas através do seu formato de transporte, especificando o processamento da camada física a ser aplicado ao canal de transporte em questão, tal como codificação de canal convolucional e *interleaving* e qualquer processo de compatibilização de taxa de algum serviço específico quando necessário.

A camada física opera de acordo com a temporização do *frame* de rádio. Um bloco de transporte é definido como o dado aceito pela camada física a ser juntamente protegido com CRC [UMTS302]. A temporização do bloco de transmissão é então amarrada exatamente ao tempo do TTI (*Transmission Time Instant*), por exemplo, cada bloco de transmissão é gerado exatamente a cada TTI.

Uma estação móvel pode ajustar múltiplos canais de transporte simultaneamente, cada um possuindo suas próprias características de transporte (por exemplo, oferecendo diferentes opções de correção de erros). Cada canal de transporte pode ser usado para transferência de *streams* de informação de um terminal de rádio ou para sinalizar mensagens para as camadas superiores (RRC, por exemplo).

A multiplexação de canais de transporte sobre o mesmo ou diferentes canais físicos é realizada pela camada física. Exceto para o HS-DSCH onde o campo indicador de combinação de formato de transporte (*Transport Format Combination Indication - TFCI*) deverá identificar unicamente o formato de transporte usado por cada canal de transporte, do canal de transporte composto codificado dentro do *frame* de rádio atual.

No caso do HS-DSCH, a identificação do formato de transporte e códigos de canalização é realizada com o formato de transporte e o campo de indicação de recurso (TFRI) sobre um canal de controle compartilhado associado [UMTS302].

Portanto, a camada física deve disponibilizar as seguintes funções para fornecer os serviços de transporte de dados [UMTS201] [UMTS302] [UMTS301]:

- Distribuição/combinação de macrodiversidade e execução de *soft handover*,

- Detecção de erros sobre os canais de transporte e indicação para as camadas superiores;
- Codificação/decodificação FEC para os canais de transporte;
- Multiplexação de canais de transporte e demultiplexação de canais de transporte compostos codificados (CCTrCHs);
- Mapeamento de canais de transporte sobre os canais físicos;
- Casamento de taxas dos canais de transporte codificados para canais físicos;
- Medição de potência e combinação de canais físicos;
- Modulação e expansão/modulação e concentração de canais físicos;
- Sincronização de frequência e tempo de *chip*, *bit*, ou *frame*;
- Medidas de FER, SIR, nível de interferência, potência de transmissão, e etc, e a indicação destas medidas para as camadas superiores;
- Controle de potência de *loop* fechado, e
- Processamento de RF.

4.4.8 Serviços Oferecidos às Camadas Superiores

Os canais de transporte são os serviços propostos pela camada física do W-CDMA às camadas mais altas. Os canais de transporte são sempre unidirecionais e são comuns (compartilhados entre diversos usuários) ou dedicados (alocados para um usuário específico).

4.4.8.1 Canais de Transporte

Os serviços de transporte da camada física são descritos através de **como** e com que características os dados são transferidos sobre a interface de rádio. O termo adequado para isto é "Canal de Transporte". Para cada canal de transporte, existe um formato de transporte associado sejam eles de taxa fixa ou variável. Um formato de transporte é definido como uma combinação de codificações, *interleaving*, taxa de *bits* e mapeamento sobre os canais físicos [UMTS301], veja [UMTS302] para obter mais detalhes.

Os canais de transporte estão classificados em dois grupos [UMTS112] [DAHL98] [PRAS98] [UMTS321]:

- Canais dedicados, utilizados quando a estação móvel é identificada pelo canal físico, isto é, pelo código e frequência, e

- Canais Comuns, utilizados quando existe a necessidade de identificação *inband* da estação móvel quando uma estação móvel particular é endereçada.

4.4.8.1.1 Canais de Transporte Dedicados

Existe um único tipo de canal de transporte dedicado, o Canal Dedicado (DCH).

- **DCH** – *Dedicated Channel*

Um canal dedicado existente no *downlink* e *uplink* usado para transportar dados de usuário ou informação de controle da rede para a estação móvel. Um DCH pode ser transmitido e recebido através da célula inteira ou somente através de parte de uma célula usando, por exemplo, antenas direcionais. O DCH corresponde a três canais, canal de tráfego dedicado (DTCH), canal de controle dedicado *stand-alone* (SDCCH) e ao canal de controle associado (ACCH). O DCH é caracterizado pela possibilidade de mudança rápida de taxa (a cada 10 ms), e utiliza controle de potência, portanto, está livre de colisões [DAHL98].

4.4.8.1.2 Canais de Transporte Comuns

Existem seis tipos de canais de transporte comuns: BCH, FACH, PCH, RACH, CPCH e DSCH [DAHL98] [UMTS112] [PRAS00].

- **BCH** – *Broadcast Channel*

Um canal de transporte comum no *downlink* usado para *broadcast* de informações específicas do sistema e da célula. Um BCH é sempre transmitido sobre uma célula inteira a uma pequena taxa fixa de *bits*.

- **FACH** – *Forward Access Channel*

Um canal de transporte comum no *downlink* usado para transportar informações de controle e pacotes pequenos de usuário para uma estação móvel, onde a localização da célula é conhecida pelo sistema. Um FACH pode ser transmitido sobre uma célula inteira ou somente sobre parte da célula (por exemplo, usando *arrays* de antenas adaptáveis). O FACH pode ser transmitido usando ajustes de potência descritos em [UMTS213]. Quando uma estação móvel requisita acesso a recursos (mensagem de requisição de recursos) necessários para a mesma transmitir algum tipo de informação, a estação base envia a resposta da requisição (mensagem de alocação de recursos) via FACH. A mensagem de alocação de recursos contém as seguintes informações: conjunto de formatos de transporte

(veja [UMTS302]) e a especificação do canal dedicado a ser utilizado para a transmissão de pacotes. Onde a estação irá usar um formato de transporte para transmitir os dados sobre o DCH. O RACH também pode ser usado para transmitir pacotes pequenos de usuários.

- **PCH** – *Paging Channel*

Um canal de transporte comum no *downlink* usado para transportar informação de controle para uma estação móvel na área de *paging*, onde a célula de localização da mesma não é conhecida pelo sistema. Um PCH é sempre transmitido sobre uma célula inteira. A transmissão de PCH está associada com a transmissão dos indicadores gerados pela camada física, para suportar de forma eficiente procedimentos *sleep-mode*.

- **RACH** – *Random Access Channel*

Um canal de transporte comum no *uplink* usado para transportar informação de controle e pacotes pequenos de usuário a partir de uma estação móvel. Um RACH é sempre recebido da célula inteira. O RACH é caracterizado pelo risco de colisão porque por padrão não é controlado por potência requerendo altos níveis de E_b/N_0 , embora possa ser transmitido usando controle de potência de *loop* aberto. Uma característica importante do RACH é que o mesmo pode ser escolhido pela RRC para transmissão de pacotes pequenos ou pouco freqüentes em uma explosão de acesso randômico (incluído na parte de mensagem da explosão de acesso). Veja o modo de transmissão do RACH na Figura 4.28.

- **CPCH** – *Common Packet Channel*

É um canal de transporte utilizado para a transmissão de pacotes pequenos e médios. O CPCH é baseado em contenção, ou seja, é um canal de acesso randômico utilizado para transmissão de explosões de tráfego de dados. O CPCH está associado ao canal dedicado de *downlink*, o qual viabiliza controle de potência e comandos CPCH de controle (por exemplo, *emergency stop*) para o CPCH do *uplink*. O CPCH é caracterizado pelo risco de colisão inicial e por ser transmitido usando o controle de potência de *loop* fechado.

- **DSCH** – *Downlink Shared Channel*

É um canal de transporte de *downlink* compartilhado dinamicamente entre diversas estações móveis onde o mesmo é associado a um ou diversos DCH de *downlink*, onde o mesmo é mapeado sobre um ou diversos canais físicos de *downlink*, dessa forma, uma parte dos recursos do *downlink* é empregada nesse processo. O DSCH

é transmitido sobre a célula inteira ou sobre somente uma parte da célula usando antenas direcionais ou setoriais [UMTS301].

- **HS-DSCH** – *High Speed Downlink Shared Channel*

É um canal de transporte do *downlink* compartilhado por diversas estações móveis. O HS-DSCH está associado a um DPCH do *downlink*, e a um ou diversos canais de controle compartilhados (HS-DCCH). O HS-DSCH é transmitido sobre a célula inteira ou sobre parte da célula usando antenas direcionais ou setoriais.

Serviços	Intervalo de Tempo de Transmissão	Número de Blocos de Transporte por Intervalo de Tempo	Tamanho dos Blocos de Transporte
Diálogo de taxa variável	10 ou 20 ms	Fixo (=1)	Variável
Pacote de dados	10 - 80 ms	Variável	Fixo (\approx 300 bits)
Dados circuito comutados	10 - 80 ms	Fixo ($>=1$)	Fixo

Tabela 4.1. Formato dos Canais de Transporte para Alguns Serviços [DAHL98].

Dados chegam no canal de transporte na forma de blocos de transporte. Um número variável de blocos de transporte chega em cada canal de transporte em cada instante de tempo de transmissão (TTI). O tamanho dos blocos de transporte é, em geral, diferente entre diferentes canais de transporte e pode também variar no tempo para um canal de transporte específico. O intervalo de tempo entre instantes de tempo de transmissões consecutivas, ou seja, intervalo de tempo de transmissão, é, em geral, diferente para diferentes canais de transporte mas é limitado pelo conjunto de intervalos: 10, 20, 40 ou 80 ms. O tempo de transmissão de um canal de transporte tipicamente corresponde a duração de *interleave* aplicada pela camada física [DAHL98].

A Tabela 4.1 ilustra alguns exemplos de formatos de canais de transporte para alguns casos de serviço específicos.

4.4.8.1.3 Indicadores

Os indicadores são entidades de sinalização rápida de baixo nível, os quais são transmitidos sem a utilização de blocos de informação pois existem canais específicos para transportar cada um dos indicadores, onde tais canais são conhecidos como *Indicator Channels* (ICH). Os indicadores até então definidos são: AI (*Acquisition Indicator*), API (*Access Preamble Indicator*), CAI (*Channel Assignment Indicator*), CDI (*Collision Detection Indicator*), PI (*Page Indicator*) e SI (*Status Indicator*). Estes indicadores sinalizam

informações sobre *status* de acesso a canais, detecção de colisões, associação entre canais, qualidade do canal, etc. Os indicadores são *booleanos* bi ou tri valorados.

4.4.8.2 Codificação e Multiplexação do Canal de Transporte

A característica chave da interface aérea do W-CDMA é a possibilidade da mesma transportar múltiplos serviços paralelos (canais de transporte) com diferentes requisitos de qualidade sobre uma conexão. O esquema básico para a codificação e multiplexação dos canais de transporte no W-CDMA é esboçado na Figura 4.8. Os canais de transporte paralelos (TrCh-1 a TrCh-M) são codificados e intercalados separadamente. Os canais de transporte codificados são então multiplexados, no tempo, em um canal de transporte composto codificado (*Coded Composite Transport Channel- CCTrCh*). O *intraframe* (10 ms) final intercalado é transportado completamente após a multiplexação do canal de transporte [DAHL98].

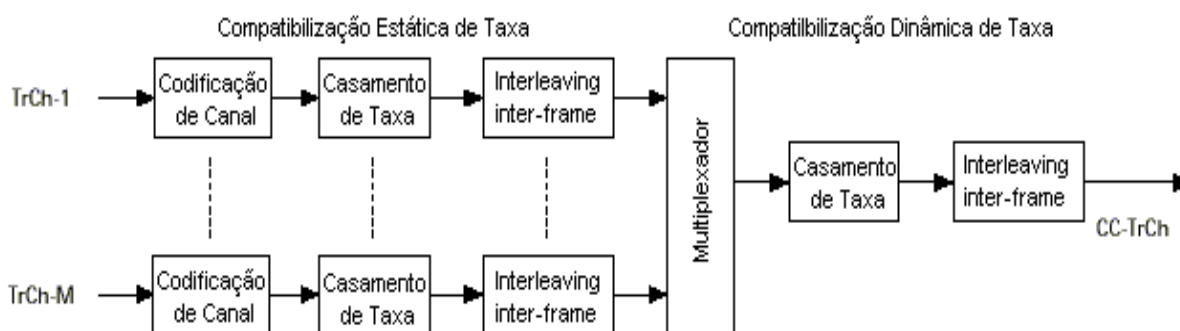


Figura 4.8. Codificação e Multiplexação de Canais de Transporte [DAHL98].

O CC-TrCh é um canal de transporte oferecido pela camada física que nada mais é do que um simples *stream* de dados de saída produzido pela unidade de codificação e multiplexação. O CC-TrCh transporta informações oriundas de diversos tipos de canais que alimentam a entrada da unidade de codificação e multiplexação, onde as informações destes canais são processadas (codificadas e multiplexadas) juntas e transportadas em um único *stream* de saída chamado de CC-TrCh. O *stream* de saída alimenta uma unidade demultiplexadora/*splitting* que divide o *stream* de dados CC-TrCh em um ou diversos *stream* de dados de canais físicos. Os bits de um *stream* de dados CC-TrCh podem ser mapeados sobre o mesmo canal físico que precisam ter os mesmos requisitos em termos de codificação e *interleaving* [UMTS302].

Portanto, o CC-TrCh nada mais é do que um *stream* de *bits* produzido por um codificador/multiplexador cujas entradas foram os *bits* vindos de vários canais de transporte de um mesmo tipo, embora diversos tipos de canais utilizem este mecanismo, este *stream* vai imediatamente alimentar a entrada de um demultiplexador/*splitting*. Veja um exemplo na Figura 4.9.

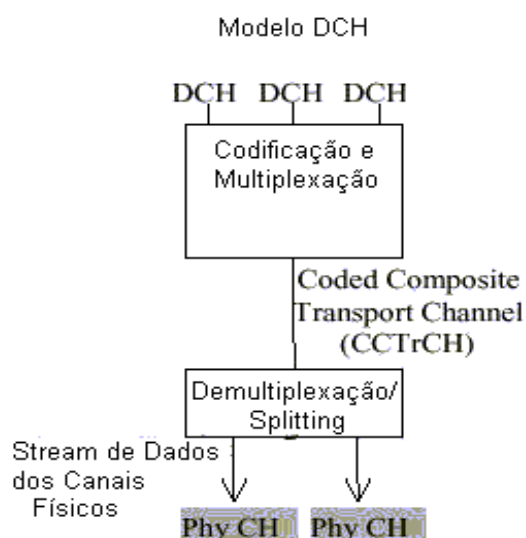


Figura 4.9. Exemplo de *Stream* de Bits do CC-TrCh [UMTS302].

Diferentes esquemas de codificação e *interleaving* podem ser aplicados a um canal de transporte dependendo de requisitos específicos em termos de taxa de erros, atraso, e assim por diante [DAHL98].

Isto inclui as seguintes considerações:

- Codificação convolucional a taxa de 1/3 é tipicamente aplicada a serviços que requerem baixo atraso como taxa de erros moderada (BER 10^{-3});
- A concatenação de codificação convolucional de taxa 1/3 e codificação Reed-Solomon externa mais *interleaving* podem ser aplicados para serviços de alta qualidade (BER 10^{-6}).

Os códigos Turbo estão também sendo considerados e irão mais provavelmente ser adotados para serviços de alta qualidade com altas taxas de dados [PRAS98].

4.4.8.2.1 Compatibilização de Taxa

A compatibilização de taxa é aplicada para compatibilizar a taxa de *bit* do CC-TrCh a um dos conjuntos limitados de taxas de *bit* dos canais físicos de *uplink* ou *downlink*, ou seja, é o processo de compatibilizar a taxa de dados de usuário com os recursos disponíveis na camada física para encaminhar esse tráfego (vide Figura 4.9 e [UMTS302]) [HAAR00]. A Figura 4.8 mostra detalhadamente o mecanismo de compatibilização de taxa. Os dois diferentes tipos de casamentos de taxa possíveis são [UMTS302] [DAHL98]:

- **Compatibilização Estática de Taxa**

É realizado na adição, remoção ou redefinição de um canal de transporte (isto é, de uma forma muito lenta). A compatibilização estática de taxa é aplicada após a codificação do canal e usa *puncturing* de código para ajustar a taxa de codificação do canal para cada canal de transporte assim que a taxa de *bit* máxima do CC-TrCh é compatibilizada com a taxa de *bit* do canal físico. A compatibilização dinâmica de taxa é aplicada em ambos os canais de *uplink* e *downlink*. No *downlink* a compatibilização de taxa estática é usada para, caso seja possível, reduzir a taxa do CC-TrCh para a menor taxa que seja a mais próxima possível da taxa do canal físico (próximo fator de expansão mais elevado) e, por conseguinte, evitar a sobre-alocação de códigos ortogonais no *downlink* e reduzir o risco da capacidade do *downlink* ser limitada pelo código. A compatibilização estática de taxa deveria ser distribuída entre os canais de transporte paralelos de forma que um canal de transporte cumpra seus requisitos de qualidade, aproximadamente na mesma relação entre sinal e interferência do canal (*Signal-to-Interference Ratio* - SIR), isto é, a compatibilização estática de taxa também executa a “compatibilização de SIR”;

- **Compatibilização Dinâmica de Taxa**

É realizada uma vez a cada *frame* de rádio de 10 ms. (isto é, de uma forma muito rápida). A compatibilização dinâmica de taxa é aplicada após a multiplexação do canal de transporte e usa repetição de símbolos assim que a taxa de *bits* instantânea do CC-TrCh é compatibilizada exatamente à taxa de *bit* do canal físico. A compatibilização de dinâmica de taxa é aplicada somente ao *uplink*. No *downlink*, a transmissão descontínua dentro de cada *slot* é usada quando a taxa instantânea do CCTr-Ch não é compatível exatamente com taxa do canal físico. Deveria ser observado que, embora a codificação do canal de transporte e multiplexação sejam realizadas pela camada física, o processo é totalmente controlado pelo controlador de recursos de rádio (camada RRC), por exemplo, em termos de escolha do

esquema de codificação apropriado, parâmetros de *interleaving* e parâmetros para a compatibilização de taxa.

Para cada canal de transporte, existe um formato de transporte associado (para canais de transporte com uma taxa fixa ou que muda lentamente) ou um conjunto de formatos de transporte associados (para canais de transporte com taxas que mudam rapidamente). Um formato de transporte é definido como uma combinação de codificações, *interleaving*, taxa de *bit* e mapeamento sobre canais físicos. Um conjunto de formatos de transporte define, por exemplo, um DCH de taxa variável com um conjunto de formatos de transporte (um formato de transporte para cada taxa), enquanto que um DCH de taxa fixa tem um formato de transporte simples [UMTS301].

Para mais detalhes sobre o formato e a configuração dos canais de transporte, consulte [UMTS302].

4.5 Estrutura dos Canais Físicos

Os canais físicos são definidos através de uma frequência portadora específica, código dispersão, código de canalização (opcional), tempo de *start* e *stop*, e, no *uplink*, pela fase relativa (0 ou $\pi/2$) [PRAS00]. Veja na Tabela 3.2 os códigos de canalização e dispersão utilizados pelo W-CDMA, e para mais detalhes consulte [UMTS213]. Os tempos de duração são definidos através dos instantes de *start* e *stop*, medidos em múltiplos inteiros de *chips*.

4.5.1 Sinais

Os sinais físicos são entidades com os mesmos atributos básicos sobre a interface aérea como canais físicos mas não possuem canais de transporte ou indicadores mapeados para eles.

4.5.2 Estrutura do *Frame*

Dependendo da taxa de símbolos do canal físico, a configuração dos *frames* de rádio ou *slots* de tempo varia. Múltiplas combinações de *chips* também usados na especificação são [PRAS00]:

- **Superframe**: Consiste de 72 frames de rádio e tem uma duração de 720 ms.

- **Frame de Rádio:** Um *frame* de rádio é um tempo de processamento que consiste de 15 *slots*, por conseguinte, o tamanho de um *frame* de rádio corresponde a 38400 *chips*;
- **Sub-frame:** Um *sub-frame* é um intervalo de tempo básico para a transmissão de um HS-DSCH e a sinalização relacionada ao HS-DSCH na camada física. O tamanho de um *sub-frame* corresponde a 3 *slots* (7680 *chips*);
- **Slot:** Um *slot* é um intervalo de tempo formado por campos contendo *bits*. O tamanho de um *slot* corresponde a 2560 *chips*.

O tempo de duração *default* para um canal físico é contínuo do instante em que ele começou ao instante em que ele é interrompido. Dentro da própria camada física o mapeamento exato é o de um canal de transporte composto codificado (CC-TrCH) para a parte de dado de um canal físico. Além disso, para partes de dados também existem partes de controle e sinais físicos [UMTS112].

A Figura 4.10 e a Figura 4.11 ilustram a estrutura básica do *frame* do W-CDMA para os canais de *downlink* e *uplink*, respectivamente. Cada *frame* de rádio, com o tamanho de 10 ms, é dividido em 15 *slots* de tamanho 0,625 ms, correspondendo a um período de controle de potência.

No *downlink*, a camada de enlace de dados é multiplexada no tempo com a informação de controle da camada física dentro de cada *slot*. A informação de controle da camada física consiste de *bits* piloto conhecidos para a estimativa do canal de *downlink*, comandos de controle de potência para o controle de potência de *loop* fechado no *uplink*, e um indicador de formato de transporte (*Transport Format Indicator* - TFI). Como mencionado anteriormente, *bits* piloto dedicados são usados em vez de um piloto comum para suportar, por exemplo, o uso de *arrays* de antenas adaptáveis na estação base também no *downlink*.

Os *bits* piloto dedicados também contribuem para um controle mais eficiente de potência de *loop* fechado no *downlink*. O TFI informa ao receptor os parâmetros instantâneos (tamanho do bloco e número de blocos) de cada canal de transporte multiplexado sobre o canal físico.

Como exposto na Figura 4.10, o número de bits por *slot* de *downlink* não é fixo, mas pode variar na faixa de 20 a 1280, correspondendo a taxa de *bit* do canal físico na faixa de 32 a 2048 kbps. Para alcançar tais taxas, relativamente altas, múltiplos canais físicos do *downlink* podem ser transmitidos em paralelo sobre uma conexão. Neste caso, a

informação de controle da camada física é somente transmitida em um canal físico, enquanto os campos correspondentes dos outros canais físicos então vazios.

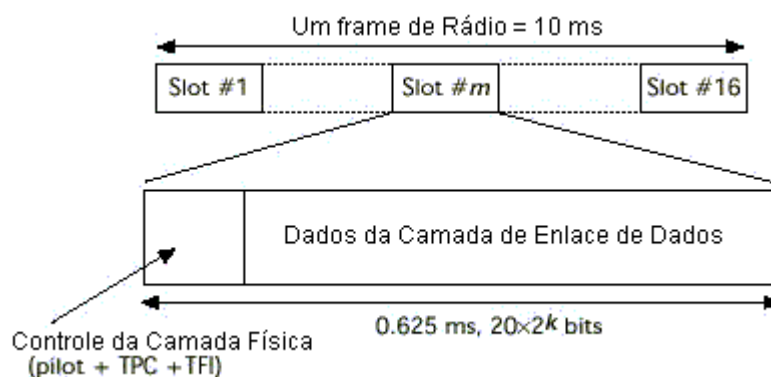


Figura 4.10. Estrutura do *Frame* para o Canal Físico Dedicado de *Downlink* [DAHL98].

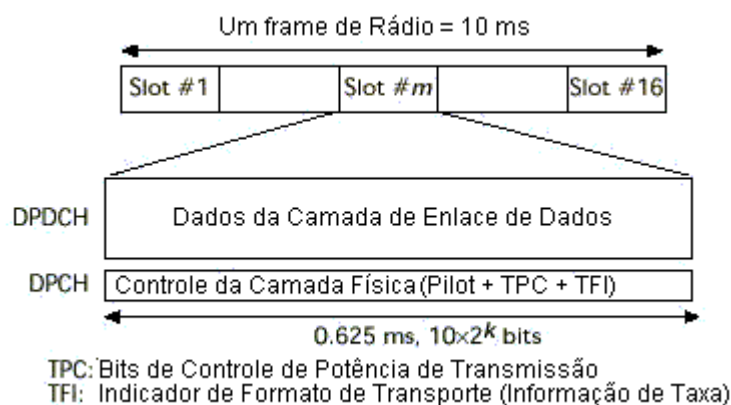


Figura 4.11. Estrutura do *Frame* para o Canal Físico Dedicado de *Uplink* [DAHL98].

4.5.3 Canais Físicos do *Uplink*

Os canais físicos de *uplink* estão divididos em canais dedicados e em canais comuns onde estes canais têm a função de transportar informações, geradas pela camada física, para as camadas superiores através do mapeamento dos canais físicos em canais de transporte. Os detalhes expostos neste tópico a respeito dos canais físicos de *uplink* e de *downlink*, serão importantes para um entendimento mais detalhado do processo de configuração do simulador WCDMA Sim para construção dos cenários de simulação relativos especificamente aos canais de *uplink*.

4.5.3.1 Canais Físicos de *Uplink* Dedicados

Existem três tipos de canais físicos de *uplink* dedicados, o canal de dados físico dedicado (*Uplink Dedicated Physical Data Channel* - DPDCH), o canal de controle físico dedicado (*Uplink Dedicated Physical Control Channel* - DPCCH) e o canal de controle dedicado do *uplink* associado com a transmissão do HS-DSCH (HS-DPCCH de *Uplink*). O DPDCH, o DPCCH e o HS-DPCCH são multiplexados e codificados nos canais I/Q. O DPDCH é usado para transportar dados dedicados da camada de enlace de dados e o canal de transporte DCH. Pode existir nenhum, um ou vários DPDCHs em cada *link* de rádio no *uplink*.

O DPCCH do *uplink* é usado para transportar a informação de controle gerada na camada física. A informação de controle da camada física consiste de conhecidos *bits* piloto para oferecer suporte a estimativa de canal para detecção coerente, comandos de controle de potência de transmissão, informação de feedback (*Feedback Information* - FBI) e um indicador opcional de combinação de formato de transporte (TFCI). O TFCI informa o receptor a respeito da combinação de formato de transporte instantânea dos canais de transporte, mapeados para o *frame* de rádio do DPDCH do *uplink* a ser transmitido simultaneamente. Existe um e somente um DPCCH de *uplink* em cada *link* de rádio [UMTS112].

No *uplink*, as informações da camada de enlace de dados e a informação de controle da camada física são transmitidas em paralelo sobre canais físicos diferentes. O controle de informação da camada física do *uplink* é a mesma do *downlink*, isto é, *bits* piloto, comandos de controle de potência para controle de potência de *loop* fechado do *downlink*, e um TFI. No caso dos *slots* o número de *bits* por *slot* pode variar na faixa de 10 a 640, correspondendo a uma taxa de *bits* do canal físico na faixa de 16 a 1024 kbps. Para alcançar a mesma alta taxa de *bits*, múltiplos DPDCHs podem ser transmitidos em paralelo no *uplink* sobre uma única conexão [DAHL98].

Dessa forma, múltiplos serviços paralelos de taxa variável (= canais de controle e tráfego lógicos dedicados) podem ser multiplexados no tempo dentro de cada *frame* DPDCH. A taxa de *bit* total do DPDCH é variável sobre um fundamento *frame-por-frame*. Em muitos casos, somente um DPDCH é alocado por conexão, e serviços são juntamente intercalados compartilhando o mesmo DPDCH [PRAS00].

De qualquer forma, múltiplos DPDCHs podem ser alocados (por exemplo, para evitar um fator de expansão muito baixo em altas taxas de dados). O DPCCH é necessário para transmitir símbolos piloto para recepção coerente, *bits* de sinalização de controle de potência e informação de taxa para detecção de taxa de transferência. Existem duas

soluções básicas para a multiplexação de canais físicos de dados e de controle que são a multiplexação de tempo e de código. Uma solução de multiplexação combinada de código e de canais IQ (*dual-channel* QPSK) é usada no *uplink* do W-CDMA para evitar problemas de compatibilidade eletromagnética (EMC) com transmissões descontínuas (DTX) [PRAS98].



Figura 4.12. Transmissão de Pulso com os Canais Multiplexados no Tempo [PRAS98].

A Figura 4.7 mostra a estrutura do *frame* do DPDCH e do DPCCH do *uplink*. Cada *frame* de rádio de tamanho 10 ms é dividido em 15 *slots*, cada um de tamanho $T_{slot} = 2560$ *chips*, correspondendo a um período de controle de potência. O DPDCH e o DPCCH são sempre alinhados ao nível de *frame*, um com o outro.

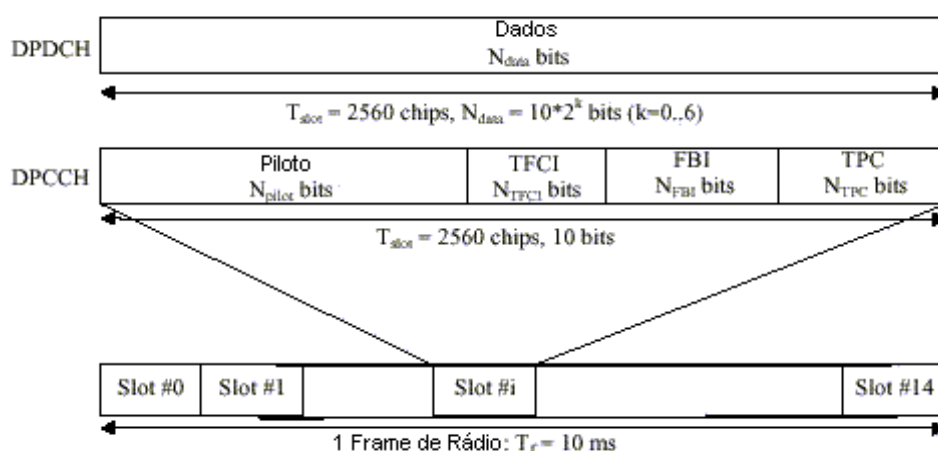


Figura 4.13. Transmissão de Pulso com o Canal de Controle Multiplexado [UMTS112].

O parâmetro k na Figura 4.13 determina o número de *bits* por *slot* do DPDCH do *uplink*. A Figura 4.14 mostra o princípio da estrutura do *frame* do DPDCH do *uplink*. Cada *frame* do DPDCH sobre um código simples transporta 160×2^k bits (16×2^k Kbits/s), onde $k = 0, 1, \dots, 6$, correspondendo a um fator de expansão de $256/2^k$ com a taxa de *chip* de 4.096 Mchips/s. O fator de expansão do DPDCH pode estar situado na faixa de 256 a 4. O fator de expansão de DPCCH do *uplink* é sempre igual a 256, isto é, existem 10 bits por *slot*

do DPCCH do *uplink*. O exato número de bits do DPDCH do *uplink* e os diferentes campos do DPCCH (N_{pilot} , N_{TFCI} , N_{FBI} e N_{TPC}) são dados pela Tabela 4.2 e Tabela 4.3.

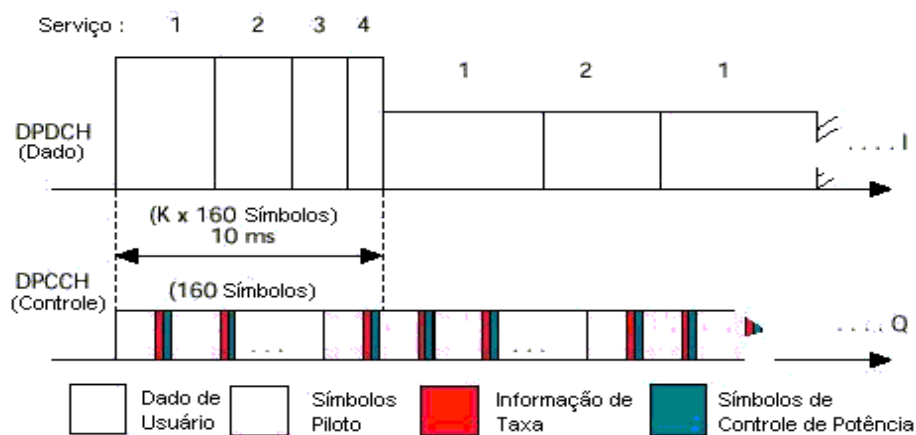


Figura 4.14. A Transmissão de Multitaxa do *Uplink* do W-CDMA [PRAS98].

A configuração para a escolha do formato de *slot* a ser utilizado é de responsabilidade das camadas superiores que podem, inclusive, reconfigurar, o formato do *slot*. O *bit* de canal e taxas de símbolos dada nas Tabela 4.2 e Tabela 4.3 são as taxas imediatamente antes da expansão.

Formato do slot #i	Taxa de bits do canal (kbps)	Taxa de Símbolos do Canal (kbps)	SF	Bits/Frame	Bits/Slot	NDado
0	15	15	256	150	10	10
1	30	30	128	300	20	20
2	60	60	64	600	40	40
3	120	120	32	1200	80	80
4	240	240	16	2400	160	160
5	480	480	8	4800	320	320
6	960	960	4	9600	640	640

Tabela 4.2. Campos do DPDCH [UMTS211].

Existem dois tipos de canais físicos dedicados no *uplink*, os que incluem o TFC (por exemplo, para diversos serviços simultâneos) e os que não incluem o TFCI (por exemplo, para serviços de taxa fixa). Estes tipos são refletidos através das linhas duplicadas da Tabela 4.3, e é a UTRAN que determina se um TFCI deveria ser transmitido e ele é obrigatório para todas as estações móveis suportarem o uso do TFCI no *uplink*. O mapeamento de *bits* do TFCI em *slot* está descrito em [UMTS212].

No modo comprimido, os formatos de *slots* DPCCH com TFCI são modificados. Existem dois formatos de *slot* comprimidos possíveis para cada formato de *slot* normal. Eles são rotulados A e B e a seleção entre eles é dependente do número de *slots* que são transmitidos em cada *frame* no modo comprimido.

A operação de multicódigo é possível para os canais físicos dedicados de *uplink*. Quando a transmissão multicódigo é usada, diversos DPDCH paralelos são transmitidos usando diferentes códigos de canalização. De qualquer forma, existe somente um DPCCH por *link* de rádio.

Um período de transmissão do DPCCH do *uplink* anterior ao início da transmissão do DPDCH do *uplink* (preâmbulo de controle de potência do DPCCH) será usado para inicialização de um DCH. O tamanho do preâmbulo de controle de potência é um parâmetro das camadas mais altas, N_{pcp} , sinalizado através da rede [UMTS214].

Um preâmbulo de controle de potência do DPCCH do *uplink* é um período de transmissão do DPCCH antes do início da transmissão do DPDCH do *uplink*. O DPCCH do *downlink* também deveria ser transmitido durante um preâmbulo de controle de potência do DPCCH do *uplink*. O tamanho do preâmbulo de controle de potência do DPCCH do *uplink* é um parâmetro definido pelas camadas mais altas e sinalizado pela rede. A transmissão do DPDCH do *uplink* deveria começar após a fim do preâmbulo de controle de potência do DPCCH do *uplink*.

Formato do slot #i	Taxa de bits do canal (kbps)	Taxa de Símbolos do Canal (kbps)	SF	Bits/Frame	Bits/Slot	N_{pilot}	N_{TPC}	N_{TFCI}	N_{FBI}	Slot Transmitidos por Frame de Rádio
0	15	15	256	150	10	6	2	2	0	15
0A	15	15	256	150	10	5	2	3	0	10-14
0B	15	15	256	150	10	4	2	4	0	8-9
1	15	15	256	150	10	8	2	0	0	8-15
2	15	15	256	150	10	5	2	2	1	15
2A	15	15	256	150	10	4	2	3	1	10-14
2B	15	15	256	150	10	3	2	4	1	8-9
3	15	15	256	150	10	7	2	0	1	8-15
4	15	15	256	150	10	6	2	0	2	8-15
5	15	15	256	150	10	5	1	2	2	15
5A	15	15	256	150	10	4	1	3	2	10-14
5B	15	15	256	150	10	3	1	4	2	8-9

Tabela 4.3. Campos do DPCCH [UMTS112]

A Figura 4.15 ilustra a estrutura do *frame* do HS-DPCCH. O HS-DPCCH transporta sinalização de *feedback* do *uplink* relativa a transmissão do DS-SSCH do *downlink*. A

sinalização de *feedback* relativa ao HS-DSCH consiste de respostas (reconhecimento) de ARQ híbrido (HARQ-ACK) e indicador de qualidade associado ao canal (*Channel-Quality Indicator* - CQI) [UMTS212]. Cada sub-frame de tamanho 2 ms (3×2560 chips) consiste de 3 slots, cada um de tamanho 2560 chips. O HARQ-ACK é transportado no primeiro slot de sub-frame HS-DPCCH. O CQI é transportado no segundo e terceiro slot de um sub-frame HS-DPCCH. Existe no máximo um HS-DPCCH sobre cada *link* de rádio. O HS-DPCCH pode somente existir juntamente com um DPCCH do *uplink*. O fator de expansão do HS-DPCCH é 256, isto é, existem 10 bits por slot do HS-DPCCH no *uplink*. O formato do slot para o HS-DPCCH do *uplink* é definido na Tabela 4.4.

Formato do slot #i	Taxa de bits do canal (kbps)	Taxa de Símbolos do Canal (kbps)	SF	Bits/Subframe	Bits/Slot	Slots Transmitidos por Subframe
0	15	15	256	30	10	3

Tabela 4.4. Campos do HS-DPCCH [UMTS112].

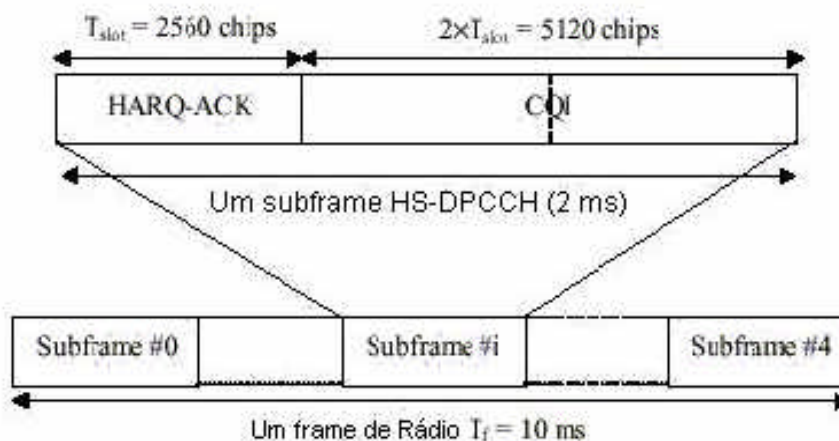


Figura 4.15. Estrutura do Frame para o HS-DPCCH do Uplink [UMTS112].

4.5.3.2 Canais Físicos de Uplink Comuns

Neste tópico serão descritos os canais físicos de *uplink* comuns suas funções, principais características e descrição das associações com outros canais.

4.5.3.2.1 Physical Random Access Channel (PRACH)

O canal físico de acesso randômico é usado para transportar o RACH. A transmissão de acesso randômica é baseada no esquema *Slotted Aloha* com indicação de aquisição rápida do canal. A estação pode iniciar a transmissão de acesso randômico no

início de um número de intervalos de tempo bem definidos, denotados *slots* de acesso. Existem 15 *slots* de acesso por 2 *frames* e eles são espaçados de 5120 *chips*, vide Figura 4.16. A informação sobre quais *slots* de acesso estarão disponíveis para transmissão de acesso randômico é determinada pelas camadas superiores.

A estrutura da transmissão de acesso randômico é mostrada na Figura 4.17. A transmissão de acesso randômico consiste de um ou diversos preâmbulos de tamanho 4096 *chips* e uma mensagem de tamanho 10 ms ou 20 ms.

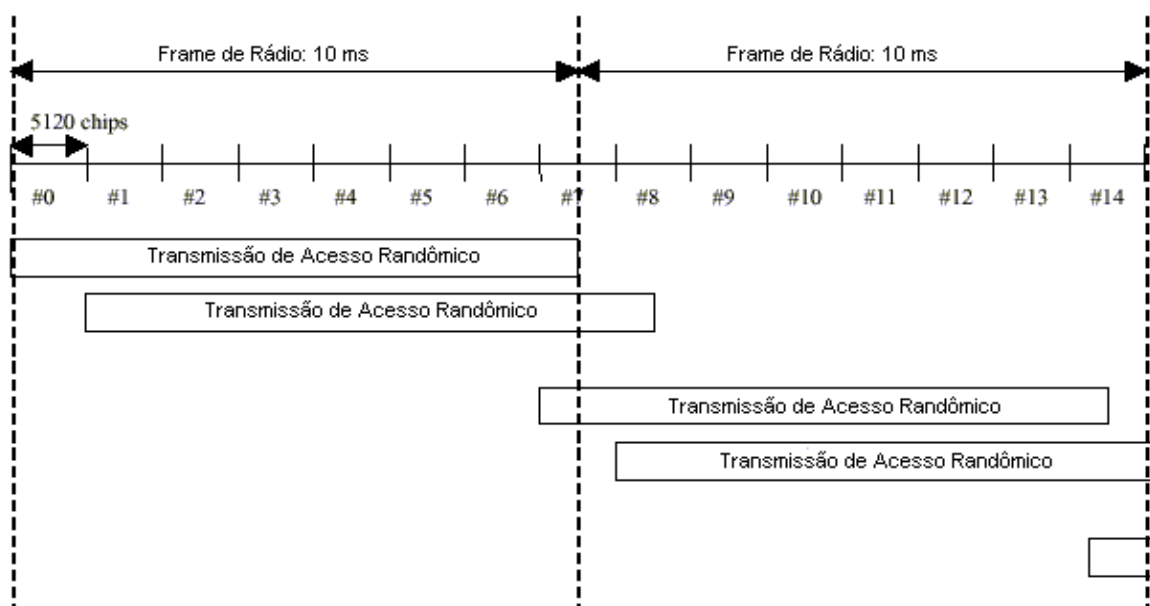


Figura 4.16. Número de *Slots* de Acesso RACH e seus Espaçamentos [UMTS112].

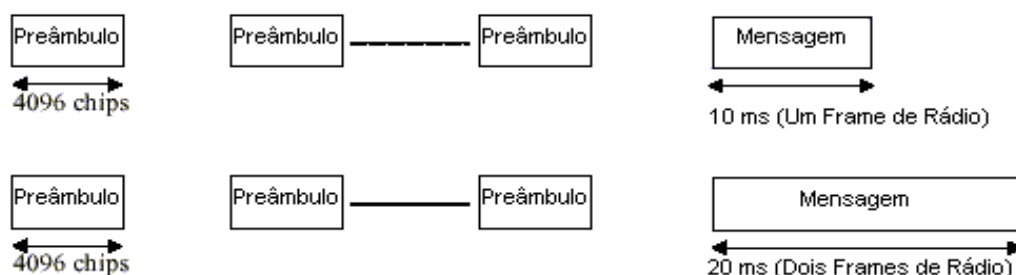


Figura 4.17. Estrutura da Transmissão de Acesso Randômico [UMTS112].

Cada parte de preâmbulo do RACH tem o tamanho de 4096 *chips* e consiste de 256 repetições de uma assinatura de tamanho 16 *chips*. Existe no máximo 16 assinaturas disponíveis, vide Figura 4.17 para mais detalhes.

A Figura 4.18 mostra a estrutura do *frame* de rádio da parte de mensagem do acesso randômico. O *frame* de rádio da parte de mensagem de duração de 10 ms é dividido em 15 *slots*, cada um de tamanho $T_{slots} = 2560 \text{ chips}$. Cada *slot* consiste de duas partes, uma parte de dados para a qual o canal de transporte do RACH é mapeado e uma parte de controle que transporta a informação de controle da camada física. As partes de dados e de controle são transmitidas em paralelo. Uma parte de mensagem de 10 ms consiste de um *frame* de rádio da parte de mensagem, enquanto uma parte de mensagem de 20 ms consiste de dois *frames* de rádio consecutivos da parte de mensagem de 10 ms.

O tamanho da parte de mensagem é igual ao intervalo de tempo de transmissão (*Transmission Time Interval*) do canal de transporte do RACH em uso. Esse tamanho de TTI é configurado pelas camadas superiores. A parte de dados consiste de $10 \cdot 2^k$ bits, onde $k=0, 1, 2, 3$. Isso corresponde ao fator de expansão de 256, 128, 64 e 32 respectivamente para a parte de dados da mensagem. A parte de controle consiste de 8 *bits* piloto conhecidos para suportar a estimativa de canal para detecção coerente e 2 *bits* TFCI. Isto corresponde a um fator de expansão de 256 para a parte de controle da mensagem. O padrão de *bits* piloto está descrito em [UMTS112].

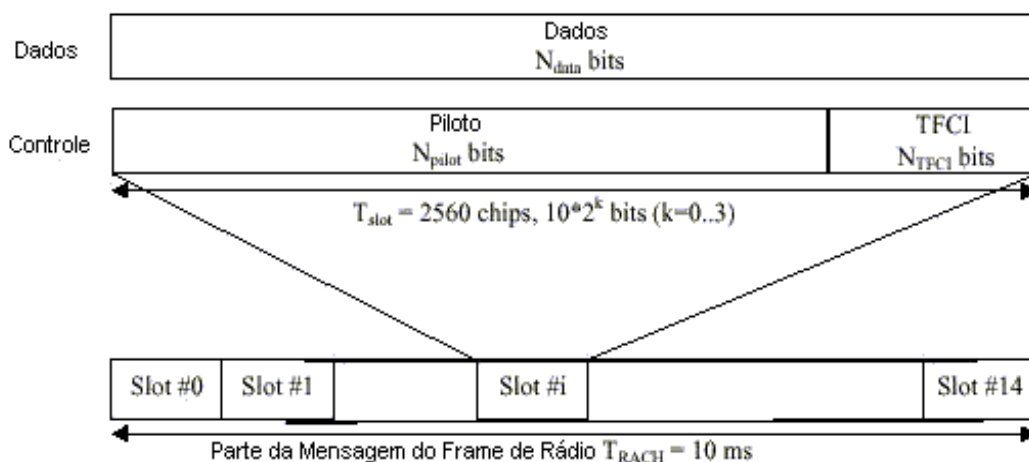


Figura 4.18. Estrutura do *Frame* de Rádio de Acesso Randômico [UMTS112].

O número total de *bits* TFCI na mensagem de acesso randômico é de $15 \cdot 2 = 30$. O TFCI de um *frame* de rádio indica o formato de transporte de canal de transporte RACH mapeado para o *frame* de rádio da parte de mensagem transmitida simultaneamente. No caso de uma parte de mensagem do PRACH de 20 ms, o TFCI é repetido no segundo *frame* de rádio.

4.5.3.2.2 Physical Common Packet Channel (PCPCH)

O PCPCH é usado para transportar o CPCH. A transmissão do CPCH é baseada na abordagem DSMA-CD com indicação de aquisição rápida de canal. A estação móvel pode iniciar a transmissão no início de um número de intervalos de tempo bem definidos, relativos ao limite do *frame* do BCH recebido da célula atual. A temporização do *slot* de acesso e sua estrutura são idênticas ao RACH. A estrutura da transmissão de acesso do CPCH é mostrada na Figura 4.19.

A transmissão de acesso do PCPCH consiste de um ou vários Preâmbulos de Acesso [A-P] como o tamanho de 4096 *chips*, um Preâmbulo de Detecção de Colisão (CD-P) com o tamanho de 4096 *chips*, um Preâmbulo de Controle de Potência do DPCCH (PC-P) o qual é 0 *slots* ou 8 *slots* em tamanho, e uma mensagem de tamanho variável $N \times 10$ ms. Para mais detalhes sobre as partes de preâmbulo, consulte [UMTS112].

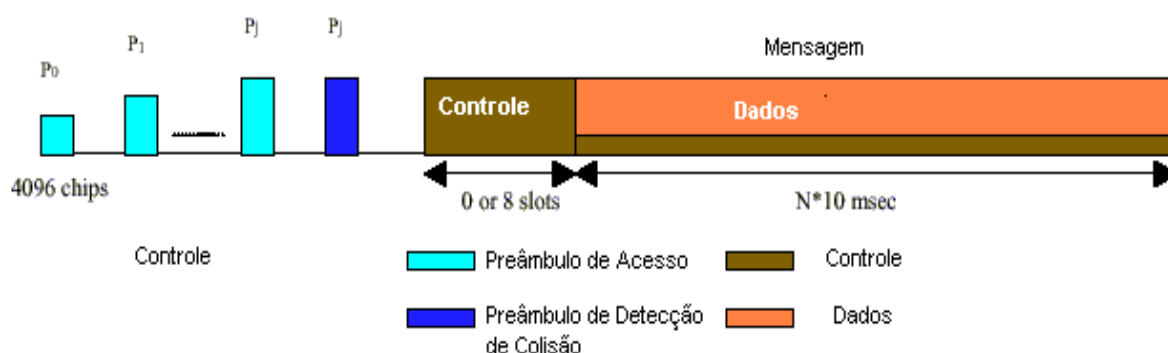


Figura 4.19. Estrutura da Transmissão de Acesso do CPCH [UMTS112].

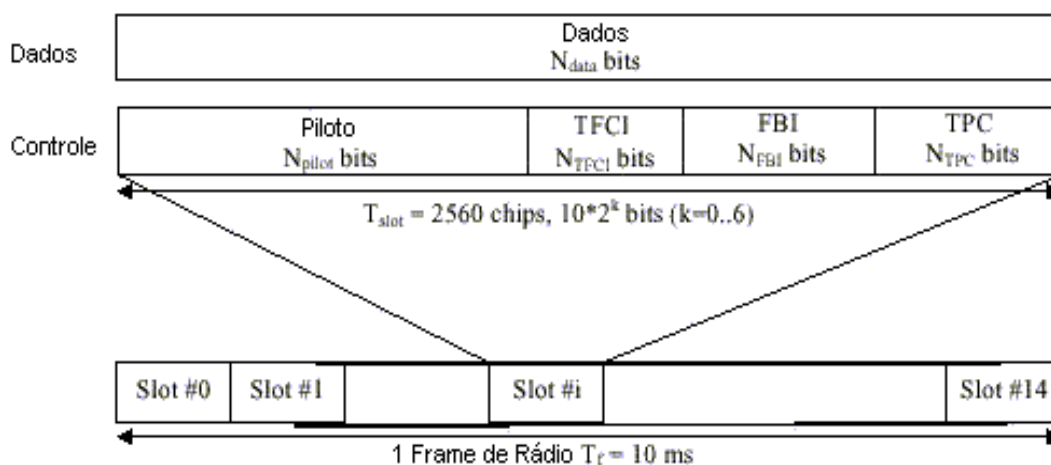


Figura 4.20. Estrutura do *Frame*. Partes de Controle e Dados do *Uplink* Associados ao PCPCH [UMTS112].

4.5.4 Canais Físicos de *Downlink*

Os canais físicos de *downlink* transportam informações contidas nos canais lógicos oriundas da estação base e com destino a estação móvel. Existem diversos canais físicos de *downlink* cuja função principal é o transporte de canais lógicos e de indicadores.

4.5.4.1 Canal Físico de *Downlink* Dedicado

Existe somente um tipo canal físico dedicado de *downlink*, o DPCH (*Downlink Dedicated Physical Channel*). Dentro de um DPCH os dados dedicados gerados na camada de enlace de dados e acima (isto é, o canal de transporte DCH) são transmitidos multiplexados no tempo com a informação de controle gerada na camada física (*bits* piloto, comandos TPC e TFCI opcional). O DPCH de *downlink* pode ser visto como uma multiplexação no tempo de um DPDCH e de um DPCCH.

A Figura 4.21 mostra a estrutura do *frame* do DPCH multiplexando o DPDCH e o DPCCH. Cada *frame* de tamanho de 10 ms é dividido em 15 *slots*, cada um de tamanho $T_{slot} = 2560 \text{ chips}$, correspondendo a um período de controle de potência. O parâmetro k na Figura 4.21 determina o número total de *bits* por *slot* DPCH do *downlink*. Ele está relacionado ao fator de expansão (*Spreading Factor* - SF) de canal físico como $SF = 512/2^k$. O fator de expansão pode estar na faixa de 512 a 4 [UMTS112].

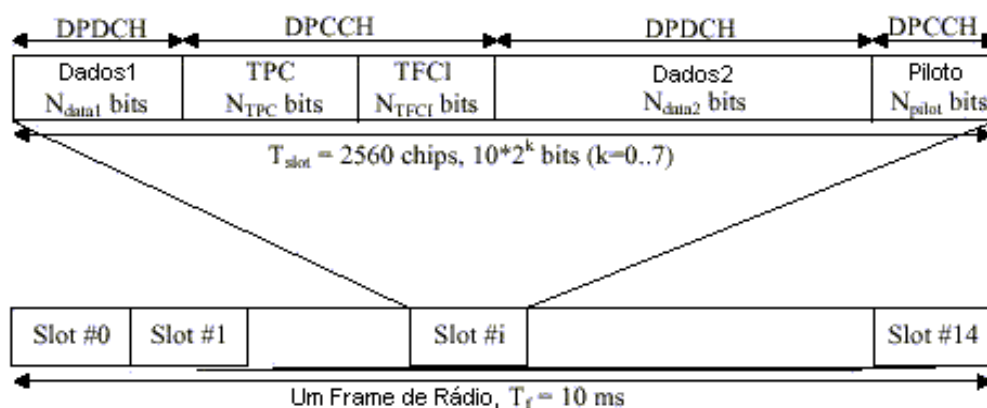


Figura 4.21. Estrutura do *Frame* para o DPCH de *Downlink* [UMTS112].

O número exato de *bits* dos diferentes campos do DPCH de *downlink* (N_{pilot} , N_{tpc} , N_{TFCI} , N_{data1} e N_{data2}) é apresentado na Tabela 4.5. O formato de *slot* a ser utilizado é configurado pelas camadas superiores, e também pode ser reconfigurado pelas camadas superiores de protocolo.

Formato do Slot #i	Taxa de Bits do Canal (kbps)	Taxa de Símbolos do Canal (ksps)	SF	Bits/Slot	DPDCH Bits/Slot		DPCCH Bits/Slot			Slot Transmitidos Por Frame
					N_{data1}	N_{data2}	N_{TPC}	N_{TFCI}	N_{Pilot}	
0	15	7.5	512	10	0	4	2	0	4	15
0A	15	7.5	512	10	0	4	2	0	4	8-14
0B	30	15	256	20	0	8	4	0	8	8-14
1	15	7.5	512	10	0	2	2	2	4	15
1B	30	15	256	20	0	4	4	4	8	8-14
2	30	15	256	20	2	14	2	0	2	15
2A	30	15	256	20	2	14	2	0	2	8-14
2B	60	30	128	40	4	28	4	0	4	8-14
3	30	15	256	20	2	12	2	2	2	15
3A	30	15	256	20	2	10	2	4	2	8-14
3B	60	30	128	40	4	24	4	4	4	8-14
4	30	15	256	20	2	12	2	0	4	15
4A	30	15	256	20	2	12	2	0	4	8-14
4B	60	30	128	40	4	24	4	0	8	8-14
5	30	15	256	20	2	10	2	2	4	15
5A	30	15	256	20	2	8	2	4	4	8-14
5B	60	30	128	40	4	20	4	4	8	8-14
6	30	15	256	20	2	8	2	0	8	15
6A	30	15	256	20	2	8	2	0	8	8-14
6B	60	30	128	40	4	16	4	0	16	8-14
7	30	15	256	20	2	6	2	2	8	15
7A	30	15	256	20	2	4	2	4	8	8-14
7B	60	30	128	40	4	12	4	4	16	8-14
8	60	30	128	40	6	28	2	0	4	15
8A	60	30	128	40	6	28	2	0	4	8-14
8B	120	60	64	80	12	56	4	0	8	8-14
9	60	30	128	40	6	26	2	2	4	15
9A	60	30	128	40	6	24	2	4	4	8-14
9B	120	60	64	80	12	52	4	4	8	8-14
10	60	30	128	40	6	24	2	0	8	15
10A	60	30	128	40	6	24	2	0	8	8-14
10B	120	60	64	80	12	48	4	0	16	8-14
11	60	30	128	40	6	22	2	2	8	15
11A	60	30	128	40	6	20	2	4	8	8-14
11B	120	60	64	80	12	44	4	4	16	8-14
12	120	60	64	80	12	48	4	8	8	15
12A	120	60	64	80	12	40	4	16	8	8-14
12B	240	120	32	160	24	96	8	16	16	8-14
13	240	120	32	160	28	112	4	8	8	15
13A	240	120	32	160	28	104	4	16	8	8-14
13B	480	240	16	320	56	224	8	16	16	8-14
14	480	240	16	320	56	232	8	8	16	15
14A	480	240	16	320	56	224	8	16	16	8-14
14B	960	480	8	640	112	464	16	16	32	8-14
15	960	480	8	640	120	488	8	8	16	15
15A	960	480	8	640	120	480	8	16	16	8-14
15B	1920	960	4	1280	240	976	16	16	32	8-14
16	1920	960	4	1280	248	1000	8	8	16	15
16A	1920	960	4	1280	248	992	8	16	16	8-14

Tabela 4.5. Campos do DPDCH e do DPCCH [UMTS112].

Existem basicamente dois tipos de canais físicos de *downlink* dedicados, os que incluem o TFCI (por exemplo, para diversos serviços simultâneos) e aqueles que não incluem o TFCI (por exemplo, para serviços de taxa fixa). É a UTRAN que determina se um TFCI deveria ser transmitido e o mesmo é obrigatório para todas as estações móveis para suportar o uso do TFCI no *downlink* [UMTS112]. Para mais detalhes sobre o mapeamento dos *bits* do TFCI sobre os *slots* consulte [UMTS212].

O *downlink* do W-CDMA permite ainda a utilização de um modo conhecido como modo compactado, onde um formato diferente de *slot* é utilizado em comparação ao modo normal. Existem dois formatos possíveis de *slots* compactados que estão rotulados como A e B. O *slot* de formato B deverá ser usado em *frames* compactados através da redução do fator de expansão. E o formato de *slot* A deverá ser utilizado em *frames* compactados através de *puncturing* ou escalonado pelas camadas mais altas. As taxas de símbolos e *bits* de cada canal são apresentadas na Tabela 4.5, e são taxas imediatamente antes da expansão.

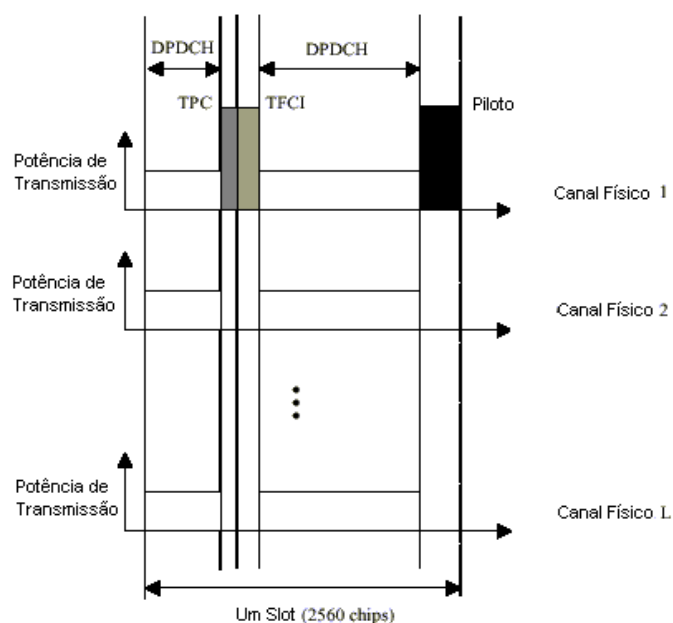


Figura 4.22. Formato do *Slot* de *Downlink* para Transmissão Multicódigo [UMTS112].

A transmissão multicódigo pode ser empregada no *downlink*, isto é, o CCTrCH é mapeado sobre diversos DPCHs de *downlink* paralelos usando o mesmo fator de expansão. Neste caso, a informação de controle da camada física é transmitida somente sobre o primeiro DPCH de *downlink*. Os *bits* DTX são transmitidos durante o período de tempo correspondente os DPCHs adicionais de *downlink*, veja a Figura 4.22.

No caso de existirem diversos CCTrCHs mapeados para diferentes DPCHs transmitidos para a mesma estação móvel, fatores de expansão diferentes podem ser utilizados sobre os DPCHs para os quais diferentes CCTrCHs são mapeados. Também neste caso, a informação de controle da camada física é transmitida somente sobre o primeiro DPCH de *downlink*, enquanto os *bits* DTX são transmitidos durante o período de tempo correspondente os DPCHs adicionais de *downlink*.

4.5.4.2 Canais Físicos de *Downlink* Comuns

Os canais físicos comuns de *downlink* têm uma estrutura muito similar a estrutura do canal físico dedicado do *downlink*. A principal diferença é que os canais físicos comuns de *downlink* são de taxa fixa, isto é, não é necessário o TFI. Além do mais, não existe *uplink* correspondente de controle de potência, isto é, os canais físicos comuns de *downlink* transportam quaisquer comandos de controle de potência. Conseqüentemente, a informação de controle da camada física dos canais físicos comuns de *downlink* é formada somente do *bit* piloto.

Existem diversos canais físicos comuns de *downlink* com funções associadas principalmente ao transporte de canais lógicos e, além disso, ao transporte de indicadores assim como o Indicador de Aquisição (AI), indicador de colisão (CDI), dentre outros.

No entanto, existem três canais físicos comuns de *downlink* que merecem ser detalhados devido ao fato de que suas funções são importantes no detalhamento do funcionamento do simulador WCDMASim. O CCPCH primário e secundário (*Common Control Physical Channels*), e o *Synchronization Channel* cujas características e funcionalidades estão descritas a seguir [PRAS98] [DAHL98] [UMTS112]:

- **Canal Físico de Controle Comum Primário (Primary CCPCH)**

Canal físico de *downlink* de taxa predefinida fixa (30 kbps, SF=256) usado para transportar o canal de transporte BCH, e é transmitido sobre um código de canalização comum predefinido para todas as células. O CCPCH primário é usado para transmitir o BCCH. É o primeiro canal adquirido pela estação móvel e um canal piloto multiplexado no tempo. Possui taxa fixa e é mapeado para o DPCH assim como os canais de tráfego dedicados. O CCPCH primário aloca o mesmo código de canalização em todas as células. Um terminal móvel pode, dessa forma, sempre encontrar o BCCH, sempre que o código de *scrambling* único da estação tenha sido detectado durante a pesquisa inicial da célula.

- **Canal Físico de Controle Comum Secundário (Secondary CCPCH)**

É também de taxa fixada. De qualquer forma, a taxa pode ser diferente para diferentes CCPCHs secundários dentro da célula e entre células. O CCPCH secundário é usado para transmitir o FACH e PCH. A informação sobre o código de canalização de cada CCPCH secundário é transmitida sobre o CCPCH primário, ou seja, difundida no BCCH.

- **Synchronisation Channel (SCH)**

O SCH é formado por dois subcanais, o SCH primário e o secundário. A Figura 4.24 ilustra a estrutura do SCH. O SCH emprega máscara de código curto para minimizar o tempo de aquisição do código longo.

Os subcanais que compõem o SCH são:

- **SCH Primário**

O SCH primário de código não modulado com tamanho de 256 *chips* é usado para obter a temporização para o SCH secundário, onde o código modulado do SCH secundário, transporta a informação a respeito do grupo de código longo ao qual pertence o código longo da estação base. O SCH primário é transmitido uma vez a cada *slot* e o código de sincronização primário é o mesmo para cada estação base no sistema, e é transmitido de forma alinhada no tempo de acordo com o limite do *slot*, como está demonstrado na Figura 4.24.

- **SCH Secundário**

O SCH secundário consiste de um código modulado de tamanho 256 *chips*, o qual é transmitido em paralelo com o SCH primário. O código de sincronização secundário é escolhido dentre um conjunto de 16 diferentes códigos, dependendo de quais dos 32 diferentes grupos de códigos pertencem os códigos de *scrambling* de *downlink* das estações base. O SCH secundário é modulado com uma seqüência binária de 16 *bits* de tamanho, a qual é repetida para cada *frame*. A seqüência de modulação é a mesma para todas as estações base tendo boas propriedades de autocorrelação cíclica.

A diversidade de transmissão é uma técnica que utiliza diversas antenas para transmitir um mesmo *stream* de *bits* através de vários canais com o objetivo de melhorar a qualidade de recepção no *downlink* sem aumentar a complexidade da estação móvel. Os canais CCPCH e SCH têm suas performances melhoradas através da utilização da diversidade de transmissão, onde são empregadas duas técnicas a TSTD (*Time-Switch*

Transmit Diversity), usada sobre o SCH, e a STTD (*Space-Time Transmit Diversity*), utilizada sobre o CCPCH. Ambos os modos TSTD e STTD são classificados como modos do tipo *open loop*. Os modos *closed loop* são o modo *Feedback* e o STD (*Selection Transmit Diversity*) [SAWA00]. Outra importante função do SCH é que o mesmo provê informação sobre *timing* e é usado para obter medidas de *handover* através da estação móvel [PRAS98].

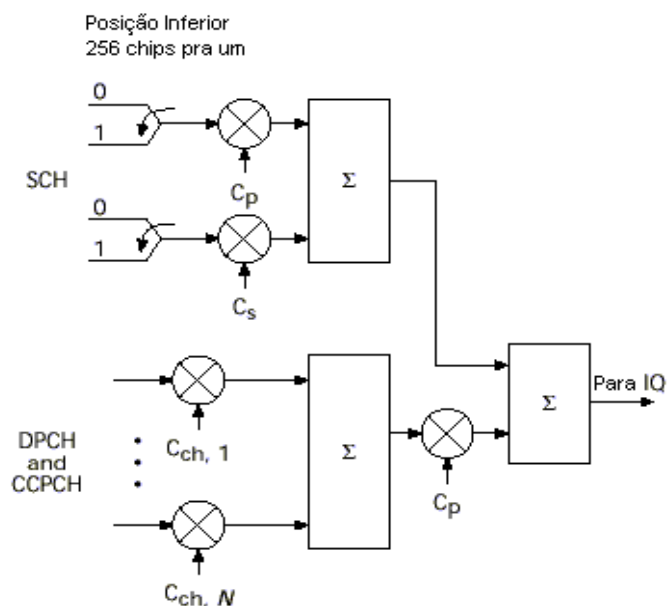


Figura 4.23. Multiplexação do SCH (C_p =Código de Expansão Primário; C_s =Código de Expansão Secundário; C_{ch} =Código Ortogonal) [PRAS98].

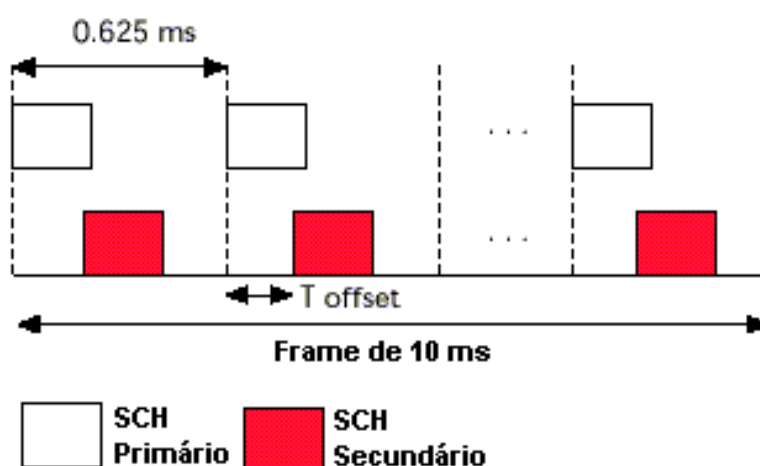


Figura 4.24. Estrutura do Canal de Sincronização (SCH) [PRAS98].

A multiplexação do SCH com os outros canais físicos de *downlink* (DPDCH/DPCCH) é ilustrada na Figura 4.23. O SCH é transmitido somente uma vez a cada *slot* (uma palavra de código por *slot*), e é multiplexado com os canais DPDCH/DPCCH e CCPCH após o *scrambling* de código longo ter sido aplicado sobre tais canais. Conseqüentemente, o SCH é não-ortogonal para outros canais físicos de *downlink* [PRAS98]. Outros canais físicos comuns de *downlink* estão citados abaixo e para mais detalhes, consulte [UMTS112]:

- *Common Pilot Channel* (CPICH)
- *Downlink Phase Reference*
- *Physical Downlink Shared Channel* (PDSCH)
- *Acquisition Indicator Channel* (AICH)
- *CPCH Access Preamble Acquisition Indicator Channel* (AP-AICH)
- *CPCH Collision Detection/Channel Assignment Indicator Channel* (CD/CA-ICH)
- *Paging Indicator Channel* (PICH)
- *CPCH Status Indicator Channel* (CSICH)
- *Shared Control Channel* (HS-SCCH)
- *High Speed Physical Downlink Shared Channel* (HS-PDSCH)

A Figura 4.25 apresenta a estrutura de mapeamento dos canais de transporte sobre os canais físicos, onde a configuração das associação entre estes canais determina como as informações são encaminhadas na interface de rádio do W-CDMA. A configuração eficiente dos cenários de simulação está diretamente associada a um bom entendimento da forma como os canais estão mapeados.

Transporte	Físicos
DCH	————— Dedicated Physical Data Channel (DPDCH) Dedicated Physical Control Channel (DPCCH)
RACH	————— Physical Random Access Channel (PRACH)
CPCH	————— Physical Common Packet Channel (PCPCH) Common Pilot Channel (CPICH)
BCH	————— Physical Common Control Physical Channel (P-CCPCH)
FACH	————— Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH)
PCH	————— Synchronisation Channel (SCH)
DSCH	————— Physical <i>Downlink</i> Shared Channel (PDSCH) Acquisition Indicator Channel (AICH)

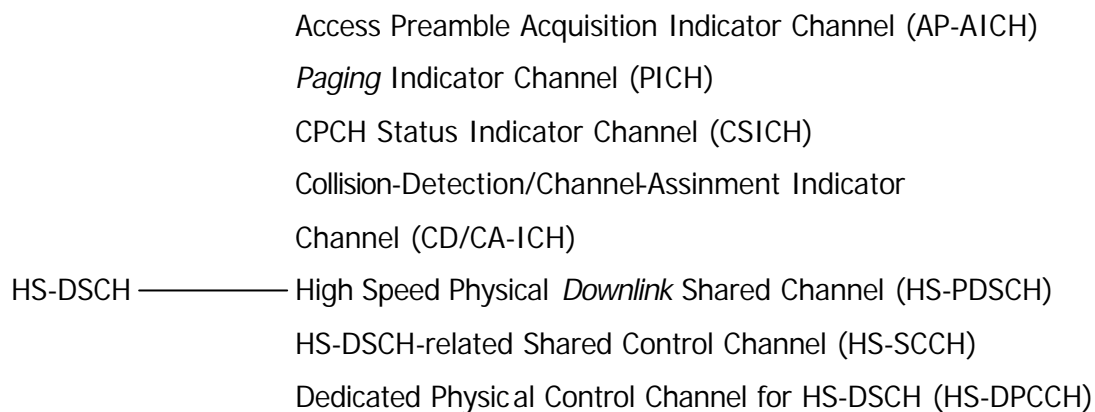


Figura 4.25. Mapeamento de Canais de Transporte em Canais Físicos [UMTS112].

4.6 Serviços e Funções da Camada MAC/RLC

Em adição ao projeto de camada física do W-CDMA, existem também esforços significantes voltados para o projeto das camadas mais altas do UTRA. Os focos deste tópico serão as camadas RLC e MAC, as quais são responsáveis pela transferência eficiente de dados de ambos os serviços *real-time* e não *real-time*. A transferência de dados não *real-time* inclui a possibilidade de ARQ [STAL00] de baixo nível, oferecendo transferência de dados confiável para as camadas de protocolo mais altas. Em acréscimo, a camada MAC controla mas não realiza a multiplexação de *streams* de dados originarias de diferentes serviços [MANI02] [DAHL98].

4.6.1 Serviços e Funções da Camada MAC

A camada MAC mapeia os canais lógicos da RLC sobre os canais de transporte disponibilizados pela camada física. A camada MAC é informada sobre a alocação de recursos pela RRC. Sua principal funcionalidade é a multiplexação de diferentes *streams* de dados sobre um mesmo canal de transporte. O processo de sinalização de prioridade entre diferentes fluxos de dados que estão mapeados sobre o mesmo recurso disponibilizado pela camada física também é função da camada MAC [HAAR00]. Uma visão detalhada do protocolo da camada MAC pode ser encontrada em [UMTS321].

4.6.1.1 Serviços Oferecidos às Camadas Superiores

- **Transferência de Dados.** Este serviço fornece transferência SDU's MAC desconhecidas entre entidades MAC ponto-a-ponto. Este serviço não fornece

qualquer segmentação de dados. Portanto, a função de segmentação/remontagem precisaria ser executada pela camada superior;

- **Realocação de Recursos de Rádio e Parâmetros MAC.** Este serviço é executado sobre uma requisição de execução de RRC para realocação de serviços de rádio e mudança de parâmetros MAC, isto é, ocorre reconfiguração de funções MAC assim como mudança de identidade da estação móvel, mudança de conjuntos de formatos de transporte e mudança de tipo de canal de transporte;
- **Relatório de Medidas.** Medidas locais tais como volume de tráfego e o indicador de qualidade são relatados para RRC.

4.6.1.1.1 Canais Lógicos

A camada MAC fornece serviços de transferência de dados sobre canais lógicos. Um conjunto de tipos de canais lógicos é definido de acordo com o tipo de informação a ser transferida.

Uma classificação geral de canais lógicos coloca-os dentro de dois grupos:

- Canais de Controle (para a transferência de informação do plano de controle);
- Canais de Tráfego (para a transferência de informação do plano do usuário).

A configuração dos tipos de canais lógicos está ilustrada na Figura 4.26.

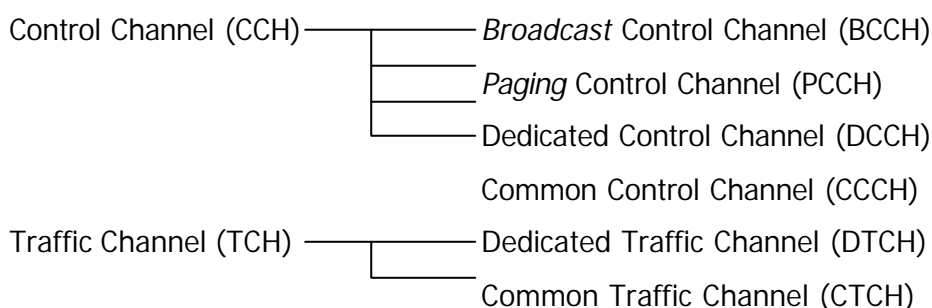


Figura 4.26. Estrutura do Canal Lógico [UMTS321].

4.6.1.1.1.1 Canais de Controle

Os canais de controle são usados para transferência de informações do plano de controle somente e serão descritos a seguir:

- **Broadcast Control Channel (BCCH)**

Um canal de *downlink* para difusão de informação de controle do sistema.

- **Paging Control Channel (PCCH)**

Um canal de *downlink* que transfere informação de *paging*. Este canal é usado quando a rede não conhece a célula de localização da estação móvel, ou, a estação móvel está no estado de célula conectada (utilizando procedimentos do modo *sleep* da estação móvel).

- **Common Control Channel (CCCH)**

Canal bi-direcional para transmissão de informação de controle entre redes e estações móveis. Este canal é comumente usado pela estação móvel quando essa não tem conexão RRC com a rede, e pela estação móvel usando canais de transporte comuns quando estão acessando uma nova célula após nova seleção da célula.

- **Dedicated Control Channel (DCCH)**

Um canal bi-direcional ponto-a-ponto que transmite informação de controle dedicada entre a estação móvel e a rede. Este canal é estabelecido através do procedimento de configuração de conexão RRC.

4.6.1.1.1.2 Canais de Tráfego

Os canais de tráfego são usados para a transferência de informações somente no plano de usuário. Os canais de tráfego são os seguintes:

- **Dedicated Traffic Channel (DTCH)**

Um canal de tráfego dedicado (DTCH) é um canal ponto-a-ponto, dedicado a uma estação móvel, para a transferência de informação do usuário. Um DTCH pode existir em *uplink* e *downlink*.

- **Common Traffic Channel (CTCH)**

Um canal dedicado unidirecional ponto-a-multiponto para transferência de informação de usuário para todas as estações ou para um grupo de estações móveis específicas.

4.6.1.2 Funções da Camada MAC

A camada MAC é responsável pelo processo de gerenciamento, ou controle de disputa, de acesso a interface aérea entre as estações móveis. As principais funções são o mapeamento eficiente entre canais lógicos e canais de transporte, seleção do formato de transporte compatível entre os canais considerando as taxas envolvidas (principalmente da

origem), identificação das estações móveis e multiplexação/demultiplexação de PDUs entre as camadas superiores e inferiores. Outras funções da camada MAC estão listadas abaixo:

A funções da camada MAC incluem [UMTS301]:

- Sinalização de prioridade entre fluxos de dados e uma estação móvel;
- Sinalização de prioridade entre estação móvel por meio de escalonamento dinâmico;
- Medidas de volume de tráfego;
- Comutação de tipo de canais de transporte;
- Segurança, e
- Seleção da classe de serviço de acesso para transmissão de RACH e CPCH.

4.6.2 Funções e Serviços da Subcamada RCL

Este tópico apresenta uma visão geral sobre serviços e funções fornecidas pela subcamada RLC. Uma descrição detalhada do protocolo RLC pode ser vista em [UMTS322]

4.6.2.1 Serviços Oferecidos às Camadas Superiores

A camada RLC fornece os seguintes modos de transferência de dados para as camadas superiores: transparente, sem reconhecimento e com reconhecimento. Portanto, os modos de transferência são:

- **Transferência de dados transparente**

Este serviço transmite PDUs das camadas superiores sem adicionar qualquer informação de protocolo, possivelmente incluindo a funcionalidade de segmentação/remontagem;

- **Transferência de dados sem reconhecimentos**

Este serviço transmite PDUs das camadas superiores sem garantir a entrega para a entidade correspondente. O modo de transferência de dados sem reconhecimento tem as seguintes características:

- **Detecção de dados errados**

A subcamada RLC deveria entregar somente aquelas SDUs para a camada superior receptora que está livre de erros de transmissão por usar a função de checagem de número de seqüência;

- **Entrega imediata**

A entidade receptora da subcamada RLC deveria entregar uma SDU para a entidade receptora da camada acima tão logo ela chegue ao receptor.

- **Transferência de dados com reconhecimento**

Este serviço transmite PDUs das camadas superiores e garante a entrega para a entidade correspondente. No caso da RLC estar impossibilitada de entregar o dado, corretamente, o usuário da RLC do lado do transmissor é notificado. Para este serviço, ambos os tipos de entrega de dados em seqüência e fora de seqüência são suportados. Em muitos casos um protocolo da camada superior pode restabelecer a ordem destas PDUs. Enquanto as propriedades fora de seqüência da camada inferior são conhecidas e controladas (ou seja, o protocolo da camada superior não irá requisitar imediatamente a retransmissão de uma PDU perdida) permitindo a entrega fora de seqüência pode reservar espaço de memória na RLC receptora. Este modo utiliza o protocolo de janela deslizante (veja [TANE96] e [STAL00]) *selective reject* com ARQ [HAAR00]. O modo de transferência de dados sem reconhecimento tem as seguintes características:

- **Entrega livre de erros**

Entrega de dados livres de erros é garantida por meio da retransmissão dos dados. A entidade RLC receptora entrega somente PDUs livres de erros para a camada superior;

- **Entrega única**

A subcamada RLC deveria entregar cada SDU somente uma vez para a camada superior receptora usando a função de detecção de SDUs duplicadas;

- **Entrega em seqüência**

A subcamada RLC deveria fornecer suporte para a entrega em ordem de SDUs, ou seja, a subcamada RLC teria que entregar SDUs para a entidade receptora da camada superior na mesma ordem em que a entidade da camada superior as entregou para a subcamada RLC;

- **Entrega fora de seqüência**

Alternativamente a entrega de dados em seqüência, poderá também ser possível permitir que a entidade RLC receptora entregue SDUs para a camada superior em uma ordem diferente daquela em que as SDUs foram submetidas a subcamada RLC no lado do transmissor.

- **Manutenção do nível de QoS definido pelas camadas superiores**

O protocolo de retransmissão deve ser configurável através da camada RRC para fornecer diferentes níveis de QoS. Isso pode ser controlado.

- **Notificação de erros irre recuperáveis**

A subcamada RLC notifica as camadas superiores de erros que não podem ser resolvidos pela RLC através de procedimentos normais de sinalização de exceção, por exemplo, através do ajuste do número máximo de retransmissões de acordo com os requisitos de atraso.

Para AM RLC, existe somente uma entidade RLC por equipamento de rádio. Para UM e TM RLC, existe uma ou duas (uma em cada direção) entidades RLC por equipamento de rádio.

4.6.2.2 Funções da Subcamada RLC

As principais funções executadas pela camada RLC são a transferência de dados do usuário, correção de erros utilizando vários mecanismos (por exemplo ARQ, Go *Back N* ou *selective repeat*), checagem de número de seqüência de PDUs RLC bem como entrega em seqüência das mesmas à camada superior e controle de fluxo entre entidades RLC. Juntamente com essas funções são executadas outras funções complementares assim como:

- Segmentação e remontagem;
- Concatenação;
- *Padding*;
- Detecção de duplicação;
- Protocolo de detecção e correção de erros;
- Criptografia, e
- Descarte de SDUs RLC.

4.6.3 Serviços e Funções da *Packet Data Convergence Protocol*

Este tópico fornece uma visão geral sobre os serviços e funções fornecidos pelo Protocolo de Convergência de Pacotes de Dados. Uma descrição detalhada da PDCP é apresentada em [UMTS324].

4.6.3.1 Serviços PDCP Fornecidos as Camadas Superiores

O único serviço provido pela subcamada PDCP às camadas superiores é a entrega eficiente de SDUs PDCP.

4.6.3.2 Funções do PDCP

A camada PDCP, que é opcional, está localizada no plano de usuário (*U-plane*) e implementa funções de compressão de cabeçalho para a camada de rede, especificamente para os protocolos IPv4 e IPv6. As funções do PDCP de forma mais detalhadas são:

- **Compressão e descompressão de cabeçalho**

A compressão e descompressão de cabeçalho de *streams* de pacotes IP (por exemplo, cabeçalhos TCP/IP e RTP/UDP/IP) na entidade transmissora e receptoras, respectivamente. O método de compressão de cabeçalho é especificamente para a camada de rede particular, camada de transporte ou combinações de protocolos das camadas superiores, por exemplo TCP/IP e RTP/UDP/IP;

- **Transferência de dados do usuário**

A transmissão de dados de usuário significa que o PDCP recebe SDUs do PDCP da NAS e encaminha as SDUs para a camada RLC e vice-versa.

- **Suporte para realocação de SRNs sem perda**

Manutenção de números de seqüência PDCP para equipamentos de rádio que são configurados para suportar realocação de SRNs sem perda.

4.6.4 Serviços e Funções do *Broadcast/Multicast Control*

Na arquitetura da UTRAN, existe somente uma entidade BMC por célula. A camada BMC, existente no plano de usuário (*U-plane*), fornece serviços de *broadcast* sobre a célula, similares ao serviço de *broadcast* de mensagens curtas (*Short Message Service - SMS*).

Este tópico fornece uma visão geral sobre os serviços e funções fornecidos pela subcamada BMC. Uma descrição detalhada do protocolo BMC é dada em [UMTS324].

4.6.4.1 Serviços BMC

O SAP (*Service Access Point*) do BMC fornece um serviço de transmissão de *broadcast/multicast* no plano de usuário na interface de rádio para dados de usuário

comum no modo não confirmado, ou seja, não existe confirmação para as informações tocadas no plano de usuário.

4.6.4.2 Funções da BMC

Como a principal função da subcamada BMC é gerenciamento de tráfego de dados no plano de usuário, existe a necessidade de algumas funções auxiliares serem executadas para prover suporte ao gerenciamento eficiente do tráfego de *broadcast* e *multicast*. As funções executadas pela subcamada BMC são as seguintes [HAAR00]:

- Armazenamento de mensagens de *broadcast* de células;
- Monitoramento do volume de tráfego e requisição de recursos de rádio para o serviço de *broadcast* de células (*Cell Broadcast Service* - CBS);
- Escalonamento de mensagens BMC;
- Transmissão de mensagens BMC para estação móvel, e
- Entrega de mensagens de *broadcast* de células para camadas superiores (NAS)

4.6.5 Fluxo de Dados através da Camada de Enlace de Dados

Fluxo de dados através da camada de enlace de dados são caracterizados pela aplicação de modos de transferência de dados sobre a RLC (com confirmação, sem confirmação e transmissão transparente) em combinação com o tipo de transferência de dados sobre a MAC, ou seja, se é ou não é necessário um cabeçalho MAC. O caso onde o cabeçalho MAC não é necessário é referenciado como uma transmissão de MAC não transparente. Ambas as transmissões de RLC com confirmação e sem confirmação requerem um cabeçalho RLC.

Na transmissão sem confirmação, somente um tipo de PDU de dado sem confirmação é trocado entre entidades RLC pares. Na transmissão com confirmação, ambas as PDUs de dados e controle são trocadas entre entidades RLC pares. No documento [UMTS301] são encontrados os diversos fluxos de dados RLC entre as camadas.

Observe que o termo "transmissão transparente" é usado aqui para caracterizar o caso onde um protocolo, MAC ou RLC, não requer qualquer informação de controle de protocolo (por exemplo, cabeçalho). No modo de transmissão transparente, de qualquer forma, algumas funções de protocolo podem ainda ser aplicadas. Neste caso uma entidade do respectivo protocolo deve estar presente mesmo quando o protocolo é transparente. Para o protocolo RLC a função de segmentação/remontagem pode ser aplicada [UMTS301].

4.6.5.1 Fluxo de Dados

Para alcançar os requisitos anteriormente mencionados, a camada RLC segmenta os *streams* de dados em pequenos pacotes, unidades de dados do protocolo RLC (RLC PDUs), adequadas para a transmissão sobre a interface de rádio. Na Figura 4.27 o fluxo de dados do sistema W-CDMA é demonstrado.

As PDUs da camada de rede (N-PDUs) são primeiro segmentadas em pequenos pacotes e transformadas em PDUs de controle de acesso ao *link* (*Link Access Control* - LAC PDUs). O overhead do LAC (3 octetos) consiste tipicamente de pelo menos um identificador do ponto de acesso a serviço (*Service Access Point* - SAP) e um número de seqüência para o ARQ de alto nível e outros campos. As PDUs LAC são então segmentadas em pequenos pacotes, PDUs RLC, correspondendo ao bloco de transporte da camada física. Cada PDU RLC contém um número de seqüência usado para o ARQ rápido de baixo nível. Um CRC para detecção de erros é calculado e adicionado a cada PDU RLC pela camada física [DAHL98].

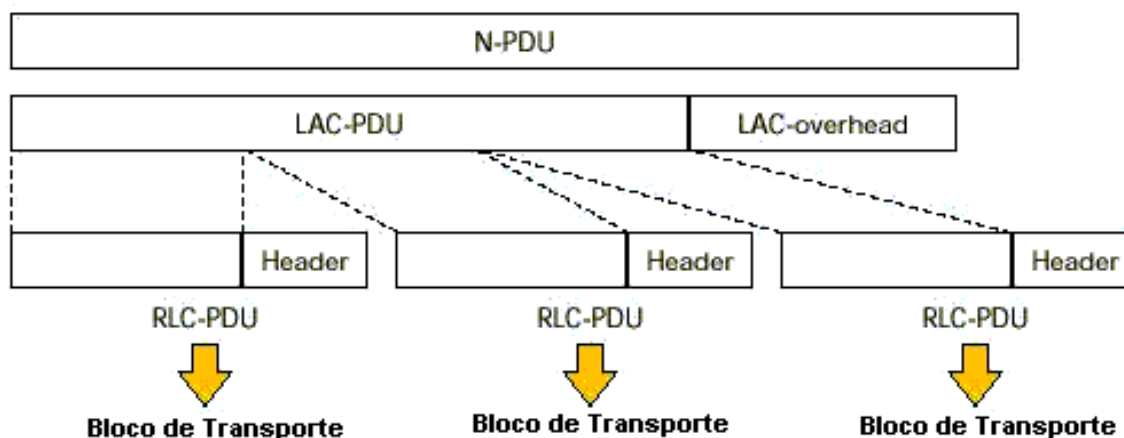


Figura 4.27. Segmentação e Transformação das PDUs da Camada de Rede [DAHL98].

O fluxo de dados do sistema W-CDMA é muito similar ao fluxo de dados do GPRS [CAI97] [DAHL98]. De qualquer forma, uma diferença importante é que, no GPRS, uma PDU RLC sempre consiste de quatro explosões, enquanto a taxa de código pode variar. De outra forma, no sistema W-CDMA todas as PDUs RLC têm o mesmo tamanho, sem levar em consideração a taxa de transmissão. Isso significa que desde que a taxa de transmissão possa mudar a cada 10 m, o número de PDUs RLC transferido a cada 10 ms varia.

4.6.5.2 Modelos de Operação

Neste tópico será descrito o modelo de operação quando pacotes são transmitidos no *uplink*. A transmissão de pacotes no *downlink* é processada de uma forma muito similar. No W-CDMA, pacotes de dados podem ser transmitidos de três formas diferentes [DAHL98]:

4.6.5.2.1 Serviços de Pacotes de Dados

Se um pacote da camada de rede é gerado, o controle de recursos de rádio da estação móvel (*Radio Resource Control* - RRC) pode escolher transmitir o pacote sobre o RACH, isto é, incluído na parte de mensagem da explosão de tráfego (veja a Figura 4.28). Este tipo de transmissão de pacote via canal comum é tipicamente escolhida se existe somente uma pequena quantidade de dados a ser transmitido (pacotes pequenos ou pouco freqüentes). Neste caso, a reserva explícita não é realizada, ou seja, o *overhead* é o menor possível. Além do mais, não é necessária designação explícita de canal, portanto, o atraso de acesso é mantido pequeno. A principal desvantagem disso é o risco de colisões no RACH comum, e pelo fato do RACH não ter controle de potência é necessários a adoção de níveis de E_b/N_0 consideráveis para a transmissão do RACH.

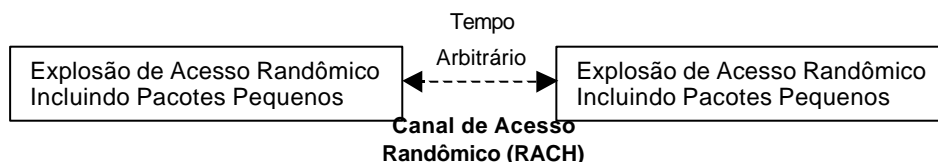


Figura 4.28. Transmissão de Pacotes sobre um Canal Comum (RACH) [DAHL98].

Nesse caso, ilustrado na Figura 4.29, a estação móvel primeiro envia uma mensagem de requisição de recursos, indicando qual tipo de tráfego está para ser transmitido. A rede então avalia se a estação móvel pode ser associada aos recursos necessários. Se for possível a associação, uma mensagem de alocação de recursos é transmitida sobre o FACH. A mensagem de alocação de recursos é formada por um conjunto de formatos de transporte e a especificação de um canal dedicado a ser usado para a transmissão de pacotes.

Como resultado disso, a estação móvel irá usar um formato de transporte para transmitir seus dados sobre um DCH. Dessa forma, este mesmo formato de transporte pode ser usado pela estação móvel ao tempo em que a mesma inicia sua transmissão onde a transmissão é encaminhada juntamente com a mensagem de alocação de recursos ou é

indicada em uma mensagem distinta de capacidade de alocação em um momento posterior. Em situações onde a carga de tráfego é baixa, a primeira alternativa é mais provável de ser usada, enquanto a segunda alternativa é usada em casos onde a carga é alta e a estação móvel não está autorizada a transmitir o pacote imediatamente.

A primeira alternativa é ilustrada na Figura 4.29. Este método de primeiro requisitar recursos antes da transmissão de dados é usado em casos quando a estação móvel tem pacotes grandes a serem transmitidos. O *overhead* causado pelo mecanismo de reserva de recursos é, portanto, insignificante.

Devido ao fato de que a estação móvel obtém associação ao canal dedicado, a transferência de dados será mais confiável que se a mesma fosse realizada em um canal comum no RACH. As razões são que o canal dedicado não é um canal compartilhado, portanto, não vão ocorrer colisões e que o controle de potência de *loop* fechado é usado no canal dedicado. A razão para associar um conjunto de formatos de transporte pode então mais facilmente ser mudada durante a transmissão para permitir que haja um controle de interferência mais eficiente.

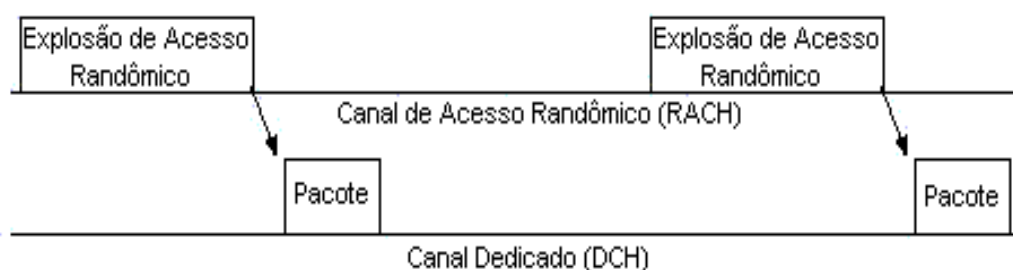


Figura 4.29. Transmissão de Pacotes sobre um Canal Dedicado (DCH) [DAHL98].

A terceira alternativa para a transmissão de pacotes, ilustrada na Figura 4.30, é usada quando já existe um canal dedicado disponível. A estação móvel pode então lançar uma requisição de capacidade no DCH, quando a estação móvel tem uma grande quantidade de dados a transmitir, ou simplesmente iniciar. A estação móvel pode já ter um DCH a sua disposição devido ao fato de que ela usa-o para outros serviços. Uma outra razão pode ser que a estação móvel justamente encerre os pacotes transmitidos no DCH. Ela então irá sustentar o DCH por um certo tempo. Se neste tempo novos pacotes cheguem, a estação móvel pode imediatamente iniciar a transmissão, usando o formato de transporte usado durante a última transmissão de dados.

Entre os pacotes no DCH, a manutenção do *link* é feita através de *bits* piloto enviados e comandos de controle de potência, garantindo que a transmissão de pacotes

seja, do ponto de vista de utilização do espectro, eficiente. Se não novos pacotes não estão sendo gerados dentro de um intervalo de tempo especificado (*timeout*), a estação móvel irá liberar o DCH. De qualquer forma, a estação móvel irá guardar o conjunto de formatos de transporte alocados. Dessa forma, quando ela tiver novos pacotes a transmitir, somente uma curta mensagem de requisição de capacidade necessita ser transmitida no RACH [DAHL98].

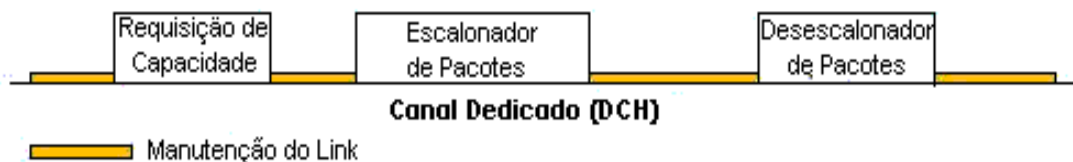


Figura 4.30. Transmissão de Pacotes sobre o Canal Dedicado [DAHL98].

4.6.5.2.2 Serviços *Real-Time*

Para serviços *real-time* o procedimento de alocação é muito similar ao descrito anteriormente. Um vez que uma estação móvel tenha dados a transmitir, ela primeiro monta uma mensagem de requisição de recursos no RACH, ou, se uma estação móvel já possui canais dedicados associados a mesma, no DCH alocado para informação de controle. Como consequência a rede agora aloca os recursos solicitados, novamente por meio de um conjunto de formatos de transporte.

Em contraste ao caso de pacotes de dados, onde a estação móvel primeiro aguarda por uma mensagem de alocação de capacidade, a estação móvel pode agora iniciar a transmissão imediatamente após ela ter recebido uma mensagem de alocação de recursos. Uma outra diferença da transmissão de pacotes é que a estação móvel é agora autorizada a usar qualquer formato de transporte alocado na mensagem de alocação de recursos. Dessa forma a estação móvel pode suportar serviços de taxa de *bits* variáveis assim como diálogo.

4.6.5.2.3 Serviços Mistos

A camada MAC deveria também estar apta a suportar múltiplos serviços. Como mencionado anteriormente, a camada física é capaz de multiplexar *streams* de *bits* provenientes de diferentes serviços. O protocolo MAC controla esse processo através do controle da *stream* de dados entregue a camada física sobre os canais de transporte. Esse

controle pode ser particularmente importante quando existe uma falta de capacidade no sistema.

Se uma estação móvel quer transmitir dados de diferentes serviços, por exemplo, um serviço *real-time* assim como diálogo e um serviço de pacotes de dados, ela é associada a dois conjuntos de formatos de transporte, um para o serviço *real-time* outro para o serviço de dados de pacotes. Como mencionado no caso de serviço simples, a estação móvel pode usar qualquer formato de transporte associado para o serviço *real-time*, enquanto que ela pode somente usar um dos formatos de transporte para o serviço de dados. No caso de multiserviço, a estação móvel pode usar qualquer formato de transporte associado a ela para o serviço de diálogo.

Em acréscimo, a estação móvel obtém associado um específico limite de taxa/potência de saída. A taxa agregada de ambos os serviços deve estar abaixo desse limite. Os formatos de transporte usados para o serviço de dados são escolhidos fora do conjunto de formatos de transporte alocados de forma que a taxa/potência de saída agregada nunca irá exceder o limite. Assim, os formatos de transporte usados para serviços de dados flutuam de forma adaptável aos formatos de transporte usados do serviço de diálogo.

Capítulo 5.0

Análise de Requisitos para Encaminhamento de Tráfego

Este capítulo analisa através de simulações o desempenho da interface aérea do W-CDMA no processo de transmissão de informações sobre a interface de rádio. Os principais fatores que influenciam na transmissão de informações são analisados e os resultados obtidos são demonstrados através de gráficos. As simulações foram realizadas na ferramenta WCDMASim que roda no ambiente do MATLAB™.

5.1 Objetivos

Considerando que o objetivo de qualquer transmissão é o sucesso do receptor no processo de interpretação do sinal transmitido, as simulações implementadas neste capítulo analisam os fatores que exercem influência direta no processo de interpretação correta de um sinal transmitido, os quais são: relação sinal/ruído (E_b/N_o), taxa de dados, taxa de erros e largura de banda [STAL02].

Entretanto, o W-CDMA para transmitir informações sobre a interface de rádio emprega técnicas de modulação e expansão do espectro com o objetivo não somente de garantir a perfeita interpretação do sinal pelo receptor mas, também, melhorar a qualidade da transmissão, evitando interferências e impedindo que o sinal seja interceptado. O W-CDMA implementa, ainda, algumas outras técnicas necessárias para garantir a qualidade de transmissão do sinal, pois o ambiente das redes em fio é muito severo e impõe sérias restrições ao tráfego de dados sobre a interface aérea.

Os fatores que podem interferir na qualidade do sinal são originados por diversos tipos de fontes de interferência, e uma das principais fontes que interferem na qualidade de uma transmissão é o ruído. Os diversos tipos de ruído, inerentes a interface aérea, são provenientes de fontes que normalmente não podem ser eliminadas, porém, mecanismos eficientes são empregados com o intuito de minimizar os efeitos do ruído sobre uma transmissão de dados.

No entanto, a performance de interface de rádio não é afetada somente por efeitos provenientes de ruídos, existem outros fatores que causam uma degradação da qualidade da transmissão provocando, por exemplo, um aumento na taxa de erros do canal. Dentre outros fatores que interferem na performance do processo de encaminhamento eficiente de tráfego podemos citar:

- Aumento do número de canais de tráfego no *downlink*;
- Velocidade da estação móvel;
- Fatores de expansão de sinal utilizados;
- Número de estações móveis no *uplink*;
- Interferência *multipath*.

Dessa forma, embora alguns dos fatores citados possam afetar o desempenho do W-CDMA, no processo de transmissão de informações, existem medidas que poder ser adotadas e recursos que podem ser utilizados para minimizar os efeitos negativos causados por algum destes fatores, ou por vários simultaneamente, sobre uma transmissão de

informações. Através das simulações explanadas neste capítulo é possível identificar quais fatores afetam a qualidade da transmissão, influenciando no processo de interpretação do sinal no receptor, e qual o nível de interferência exercida por cada um desses fatores e, finalmente, sugerir soluções para melhorar a qualidade das transmissões minimizando os efeitos que contribuem para degradar a performance do W-CDMA.

5.2 Transporte de Informações sobre Canais de Rádio

O UMTS está estruturado em uma arquitetura de camadas onde cada canal de tráfego, seja físico, de transporte ou lógico, disponibilizados pela camada física e de enlace de dados têm funções muito bem definidas e associadas a transporte de outros canais, tráfego de dados, informação de controle e sinalização. Em si tratando dos mecanismos e canais utilizados para o encaminhamento de tráfego, alguns canais são essenciais para este processo, assim como os canais físicos de *uplink* (DPDCH e DPCCH) e de *downlink* (DPCH).

Nesta seção os canais relacionados com o transporte de informações são brevemente abordados destacando aqueles que são diretamente responsáveis pelo tráfego de *downlink* e *uplink* na camada física, assim como outros canais implementados nas camadas superiores também relacionados ao tráfego de dados.

5.2.1 Canais de Tráfego do UMTS/W-CDMA

O W-CDMA através da sua estrutura de canais de tráfego provê diversos canais físicos para tráfego sobre a interface de rádio, os quais transmitem dados em canais denominados canais de transporte. Os canais físicos são estruturados tipicamente em três camadas de *frames*, os *superframes*, *frames* de rádio e *slots*. Um *superframe* tem a duração de 720 ms e consiste de 72 *frames* de rádio. Um frame de rádio tem duração de 10 ms e é formado por 15 *slots* de tempo. No *downlink* o canal físico utilizado para transportar informações oriundas dos canais das camadas superiores (canais de transporte) é o DPCH (*Dedicated Physical Channel*). O DPCH é utilizado para transmitir o DCH multiplexado no tempo com a informação de controle gerada pela camada física (*bits* piloto, TPC e TFCI).

O DCH é um canal de transporte dedicado que existe no *downlink* e no *uplink* para o transporte de dados de usuário e informações de controle geradas pela camada física. Dessa forma, o DPCH transporta o DCH no *downlink*, e no *uplink* ele transporta, multiplexados no tempo, os canais físicos DPDCH e o DPCCH.

O DPDCH do *uplink* é usado para o transporte dedicado de dados gerados pelas camadas de enlace de dados (isto é, pelo canal de transporte dedicado, DCH). O DPCCH de *uplink* é usado para transportar informação de controle gerada pela camada física. O canal físico comum de pacotes (PCPCH) é usado para transportar o CPCH.

Existe somente um tipo de canal físico dedicado de *downlink* (DPCH), o qual pode disponibilizar vários canais a partir da estação base, ou seja, vários canais são disponibilizados para que seja possível oferecer diferentes níveis de QoS, onde é possível controlar estes níveis separadamente e independentemente [PRAS98].

O canal DPCH tem associados alguns outros canais físicos, não necessariamente *frame*-alinhados, que suportam a transmissão de alguns canais de transporte para otimizar as tarefas desempenhadas pelo DPCH. Dentre estes estão o canal piloto comum principal (CPICH) que serve como referência de fase para outros canais assim como o P-CCPCH usado para transportar o BCH, o S-CCPCH, utilizado para transportar o FACH e o PCH, e, também, o SCH o qual é um sinal de *downlink* usado para pesquisa de células.

O PDSCH, usado para transportar o DSCH, é compartilhado pelos usuários através da multiplexação de código. Dependendo da taxa de símbolos do canal físico, a configuração dos *frames* de rádio varia [UMTS211].

Uma estação móvel (*uplink*) pode encaminhar uma requisição de alocação do DCH de *uplink* para transmissão de um pacote relativamente grande (ocupando o canal por algum tempo) ou uma seqüência de pacotes menores, onde a resposta a essa requisição é enviada através do canal de transporte FACH, que por sua vez está associado ao canal físico CCPCH secundário, que além de transportar o FACH transporta também o PCH [UMTS211].

O S-CCPCH utiliza o CPICH como referência de fase para transmissões utilizando STTD, recurso normalmente utilizado para minimizar a interferência, mas que pode acabar aumentando o atraso [STAL02].

A ferramenta de simulação a ser utilizada para as análises pretendidas implementa os principais canais de acesso a interface de rádio, para tráfego de dados, descritos nas especificações TS 125.211 e TS 125.213 do ETSI, embora alguns canais de controle e sinalização também estejam implementados [SARI00] [HAAR00]. Na seção que aborda a simulação os canais serão destacados e no apêndice A serão abordados aspectos relativos a implementação dos mesmos no simulador WCDMASim.

5.2.2 Transmissão de Dados em Alta Velocidade

O UMTS disponibiliza mecanismos que viabilizam o processo de transferência de informações encapsuladas em PDUs, provenientes das camadas superiores, através das camadas da arquitetura do UMTS compatibilizando formatos e realizando a segmentação de PDUs, para que as mesmas possam ser transportadas pelas unidades de dado disponíveis na camada de enlace de dados.

A camada RLC executa as funções de segmentação e remontagem de PDUs das camadas superiores de tamanhos variáveis para/de pequenas unidades de *payloads* RLC. O tamanho da PDU RLC é ajustável de acordo com o atual conjunto de formatos de transporte utilizado. A RLC transfere dados de usuário e essa transferência pode ser sem confirmação, executada sobre os canais lógicos do plano de controle do BCCH, PCCH, CCCH, SHCCH e SCCH (somente no *downlink*) e sobre os canais lógicos do plano de usuário do DTCH, ou a entrega de dados confiável com mecanismos de controle de fluxo sobre os canais lógicos DCCH/DTCH.

O CCCH usa o modo sem confirmação (segmentação/remontagem com checagem do número de seqüência) somente para o *downlink*, e o modo de transmissão transparente (segmentação/remontagem) é usado somente para o *uplink*. Os *frames* de 320 bits são utilizados para segmentação e remontagem. No modo com confirmação os primeiros octetos representam os campos do cabeçalho tais como o número de seqüência de 12 *bits* e o restante é utilizado para dados do usuário.

Para transmitir dados com altas taxas, o procedimento de compressão de cabeçalho funciona da seguinte forma: se quatro PDUs devem ser transmitidas, somente a primeira PDU terá um cabeçalho as outras seguintes não o terão. O mecanismo de compressão de cabeçalho está associado ao conceito de transferência de contexto [SARI00]. Para mais informação consulte as referências [NEIL01], [LILLEY], [DEGE00], [LARZ00], [ERIK00] e [DEGER].

No W-CDMA o processo de transmissão de *bits* dentro das unidades de dados conhecidas como *frames* é muito simples. Cada frame de 10 ms é normalmente formado por 15 *slots* e cada *slot* carrega 2560 *chips*. Se o fator de expansão (*Spreading Factor*) utilizado no momento for, por exemplo, 4, então cada *slot* transporta 640 *bits* produzindo uma taxa de *bits* no *uplink* de 960 kbps. A taxa de *bits* do *downlink* é o dobro da taxa de *bits* do *uplink*, porque a taxa de *bits* de símbolos é metade da taxa de dados do canal. As altas taxas de dados podem ser obtidas através da utilização de múltiplos códigos.

Considere datagramas IP de 1500 octetos para ser transmitido sobre o *uplink*. A camada RLC segmenta o datagrama em 27 PDUs RLC e adiciona um cabeçalho de dois

octetos a cada uma. Por conseguinte, a camada MAC adiciona um cabeçalho de 3 octetos se os campos de identificação da estação móvel (16 *bits*) são usados e formam as PDUs MAC. Cada PDU MAC pode ser transmitida sobre um *slot*. E isso produz uma taxa de dados no *uplink* de 672 kbps e no *downlink* essa taxa chega a 1344 kbps [ADAC98] [SARI00].

5.3 Estrutura da Simulação

Os procedimentos de simulação são norteados pelos parâmetros definidos pelo ETSI [UMTS112] para a escolha da tecnologia de transmissão de rádio. Os parâmetros especificados pelo ETSI são utilizados em inúmeras simulações, para caracterizar os diversos ambientes ou cenários de mobilidade, em que o W-CDMA terá que encaminhar serviços de diferentes classes sobre a interface aérea.

As especificações do ETSI para teste de performance definem quatro grandes cenários de mobilidade, onde cada cenário é caracterizado principalmente pela taxa de dados, velocidade de operação das estações durante uma transmissão e configuração das células em termos de cobertura (macro, micro e picocélulas), embora existam outros parâmetros definidos que podem ser utilizados dependendo do critério a ser analisado. Para saber mais sobre outros parâmetros consulte [UMTS112].

No caso deste trabalho de pesquisa o critério a ser analisado é o encaminhamento eficiente de tráfego através da interface aérea do W-CDMA. Outro importante parâmetro a ser destacado, utilizado para a análise de performance do W-CDMA, está associado às classes de serviços definidas pelo ETSI.

Existem diversos tipos de tráfego, onde cada tipo possui requisitos definidos em termos de taxa de erros admitida, taxa de dados necessária e o atraso suportado. Portanto, com intuito de facilitar o estabelecimento de requisitos a serem atendidos, quanto ao processo de encaminhamento para os diversos tipos de tráfego, os diferentes tipos de tráfego foram agrupados em classes de serviços.

Portanto, cada um dos cenários é configurado através de parâmetros passados para o simulador, que simula o comportamento da transmissão dos *frames* considerando tanto as condições de interferência impostas por cada ambiente, quanto a própria configuração dos canais físicos de tráfego e de outros parâmetros passados para o simulador.

As simulações são processadas diferentemente para os canais físicos de *downlink* e *uplink* do W-CDMA, o que nos permite avaliar fontes de interferências diferentes que agem separadamente sobre o *downlink* e o *uplink*, como é o caso, por exemplo, do número de

canais no *downlink* e o número de usuário no *uplink*. Através da análise dos resultados obtidos foi possível avaliar, além dos fatores que causam interferência e o nível dessa interferência, a eficiência do W-CDMA no processo de encaminhamento de tráfego via interface de rádio. Conseqüentemente, foi possível mensurar as taxas de erros (BER) e a taxa de dados em cada cenário de mobilidade e identificar mecanismos que podem ser utilizados para minimizar os efeitos negativos dos diversos tipos de interferência na qualidade final da transmissão.

5.3.1 Cenários

Os cenários de teste fornecem um modelo de referência para cada ambiente operacional. Estes cenários têm a função de cobrir todos os parâmetros dos diversos ambientes em que o UMTS pode operar. Os parâmetros necessários para os modelos de referência incluem o ambiente de propagação, condições de tráfego, taxa de dados suportada, e os critérios de performance esperados para cada cenário.

Os cenários são considerados como um fator importante no processo de avaliação da tecnologia de rádio transmissão. Os modelos de referência para os cenários são utilizados para estimar aspectos críticos, que influenciam na performance do mecanismo de encaminhamento de tráfego que opera do ambiente em questão.

A Tabela 5.1 ilustra o mapeamento entre os requisitos de serviços de alto nível sobre os ambientes de teste, onde o mapeamento consiste em identificar a taxa de dados máxima de usuário em cada ambiente de teste, juntamente com o velocidade máxima operacional, cobertura, e modelo de canal de banda larga associado. Estes parâmetros devem ser considerados em processos de projeto e avaliação de performance [UMTS112].

Ambientes de Operação	Taxa de Bits Mínima/Preferencial	Velocidade Máxima	Modelo dos Canais do Ambiente	Cobertura da Célula
Rural	144/384 kbps	500 km/h	<i>Vehicular A & B</i>	Macro célula
Urbano/Suburbano	384/512 kbps	120 km/h	<i>Outdoor to Indoor/Pedestrian A & B</i>	Micro célula
			<i>Vehicular A</i>	Macro célula
<i>Indoor/Outdoor</i> de curta abrangência	2048/2048 kbps	10 km/h	<i>Indoor A & B</i>	Pico célula
			<i>Outdoor to Indoor/Pedestrian A</i>	Micro célula

Tabela 5.1. Ambientes Operacionais do UMTS [UMTS112].

O propósito dos ambientes de teste é simular a tecnologia de transmissão de rádio. Em vez de construir modelos de propagação para todos os possíveis ambientes

operacionais do UMTS, um pequeno conjunto de cenários foi definido para abranger todas as faixas dos possíveis ambientes. Portanto, devemos observar que o UMTS foi projetado para ser um padrão mundial. Então, os modelos propostos para avaliação da tecnologia de transmissão e de sua performance consideram uma grande faixa de ambientes, que estão refletidos nos cenários de mobilidade, por exemplo, grandes e pequenas células, áreas tropicais rurais e desertas. Os ambientes e suas principais características são descritos a seguir [MELIS] [GONZAL]:

- **Indoor**

Este ambiente é caracterizado por abranger pequenas células e baixa potência de transmissão, evitando assim interferências entre canais adjacentes. As estações base e as estações móveis estão localizadas em ambientes internos às edificações. A regra de perda de caminho (*path loss*) varia devido a dispersão e atenuação no sinal provocada por muros, pisos e estruturas metálicas [STAL02]. Estes objetos também podem produzir efeitos de sombra.

- **Outdoor to Indoor/Pedestrian**

Este ambiente é caracterizado por pequenas células e baixa potência de transmissão. As estações base com antenas não muito altas estão localizadas em áreas abertas, sem que haja edifícios muito altos nas proximidades, isso para evitar grandes áreas de sombra. Os usuários (pedestres) estão localizados em ruas, dentro de edifícios e residências.

- **Vehicular**

Este ambiente é caracterizado por células bem amplas e altas potências de transmissão. Assumindo que o espectro é limitado, células de alta capacidade podem ser importantes. Em áreas rurais com terreno plano a perda de caminho é menor que em áreas urbanas e suburbanas. Em áreas montanhosas, a perda de caminho pode ser amenizada através da escolha da localização das estações base. As baixas taxas de atenuação do sinal propiciam o emprego de aplicações sobre terminais estacionários. Para informações mais detalhadas sobre modelos de propagação e perda de caminho, consulte [UMTS112].

Para a avaliação da performance do W-CDMA este estudo implementa simulações sobre três ambientes utilizando quatro modelos de canais. Os ambientes simulados são os três definidos na Tabela 5.1, denominados Rural, Urbano/Suburbano e *Indoor*. Os quatro modelos de canais ou cenários, de acordo com os ambientes, são o *Indoor B* (picocelular), *Outdoor to Indoor/Pedestrian B* (microcelular), *Vehicular A* (macrocelular) e *Vehicular B*

(macrocelular), os quais serão referenciados neste estudo como cenários *Indoor*, Pedestre, Veicular Urbano e Veicular Rural, respectivamente.

Não são utilizados todos os modelos de canais, primeiro devido à performance de canais como *Indoor A* e *B*, e *Indoor to Outdoor A* apresentarem resultados equivalentes, utilizando os mesmos parâmetros, em testes preliminares realizados com o WCDMA Sim, segundo, existem intersecções entre modelos de canais e cenários, e isso prova a equivalência de performance entre os modelos que pertencem a um mesmo ambiente. Portanto os modelos adotados para a simulação obedecem aos critérios de tipo ambiente e de cobertura da célula, critérios que justificam o fato do ambiente urbano/suburbano ter dois modelos de cenários implementados, um macro e outro microcelular.

5.3.2 Classes de Serviço

A rápida evolução dos sistemas de comunicação móveis gerou muitas expectativas em relação aos serviços a serem suportados pela nova geração de PCS (*Personal Communication Systems*). A expectativa é que os novos sistemas não acomodem somente serviços de voz de alta qualidade mas também dados, fax e serviços de vídeo. O projeto de sistemas de comunicação multimídia está preocupado, primeiramente com a grande variedade de taxas de dados requeridas pelos serviços e com os requisitos de qualidade da transmissão. Em um sistema multimídia *wireless*, proposta oferecida pelo W-CDMA, os requisitos dos serviços são considerados em termos de taxa de transmissão de dados, atraso e taxa de erros (*Bit Error Rate* - BER). Alguns serviços e seus requisitos estão descritos na Tabela 5.2 [ZOU].

Serviço	BER Máxima	Atraso
Diálogo	10^{-3}	Sensível
Dados Assíncronos	10^{-9}	Insensível
Fax	10^{-4}	Insensível
Pacotes de Dados	10^{-9}	Insensível
Vídeo de Baixa Resolução	10^{-5}	Sensível

Tabela 5.2. Tipos de Serviços e Seus Requisitos [ZOU].

Devido às altas taxas de transferência e a alta qualidade de transmissão (baixas taxas de erros) requerida pelos serviços multimídia, e os ambientes móveis apresentarem severas restrições, é necessário que o mecanismo de transmissão ofereça uma alta largura de banda e implemente mecanismos eficientes para prover potência para as transmissões.

Com o objetivo de facilitar a aplicação dos parâmetros em relação a classe de serviço cujos requisitos em termo de BER e taxa de transmissão serão satisfeitos, agruparemos as diversas classes de serviço da Tabela 5.2 em três classes de acordo com [UMTS112] e [UMTS111]. A Tabela 5.3 descreve as classes de serviço definidas de acordo com as especificações do UMTS.

Classe de Serviço	Taxa de Dados BER Atraso Máximo
Diálogo	8 kbps BER $\leq 10^{-3}$ 20 ms
<i>Long Constrained Delay</i> (LCD)	144 kbps BER $\leq 10^{-4}$ ou 10^{-6} ¹² 300 ms
<i>Unconstrained Delay Data</i> (UDD) - Pacotes	384 kbps BER $\leq 10^{-1}$ Insensível

Tabela 5.3. Requisitos para Classes de Serviço do UMTS [MELI00].

5.3.3 Canal de *Fading*

Possivelmente o maior problema que desafia qualquer sistema de comunicações *wireless* é o *fading* que é inerente ao ambiente móvel. O termo *fading* refere-se a variações de tempo da potência do sinal recebido ocasionadas por mudanças no meio de transmissão ou caminhos por onde o sinal trafega.

Embora o *fading* possa ser ocasionado por diversas mudanças no ambiente atmosférico em ambientes móveis, onde um das duas antenas move-se em relação a outra, a localização relativa de vários obstáculos muda com o tempo, criando efeitos de transmissão complexo. Conseqüentemente, ocorre um efeito indesejado que é a chegada de múltiplas cópias do sinal em diferentes fases ao receptor. As tendências dessas fases é serem destrutivas e o nível do sinal em relação ao ruído declina, tornando a recepção do sinal difícil. Esse efeito é combatido no receptor através do princípio do receptor RAKE (Veja seção 3.5.5) [STAL02] [LEE93].

O simulador WCDMASim implementa o canal de *fading* como um canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) o qual é o modelo de canal utilizado em análises, por

¹² Para serviços sensíveis ao atraso, uma BER na ordem de 10^{-4} poderá ser considerada na fase inicial de comparações para propósitos de simulações. A BER limitada em 10^{-6} será considerada em uma fase posterior de otimização da tecnologia W-CDMA [UMTS112].

estimar bem os efeitos do *multipath fading* e do ruído em canais de sistemas de transmissão *wireless* terrestres, principalmente em situações de mobilidade [MPRG02].

Existem dois fenômenos de *fading* que caracterizam os canais em relação ao nível de interferência exercido pelas diversas cópias do mesmo sinal que chegam a um receptor, o *Rayleigh* e o *Rician*.

O *fading Rayleigh* ocorre quando existem múltiplos caminhos indiretos entre o transmissor e o receptor e não há um caminho dominante dentre os demais, tal como um caminho LOS (*Line Of Sight*). Este caso representa as características de performance do pior cenário, assim como o cenário urbano macrocelular.

O *fading Rician* caracteriza a situação onde existe um caminho direto LOS além de vários sinais *multipath* indiretos. O modelo *Rician* é freqüentemente aplicado para simular as características de um ambiente *indoor* microcelular ou até mesmo de um ambiente *outdoor* rural macrocelular (com grandes áreas abertas). A equação abaixo caracteriza que tipo de ambientes de acordo com as potências dos diversos sinais *multipath*:

$$K = \frac{\text{Potência do Caminho Dominante}}{\text{Potência dos Caminhos Dispersos}}$$

Analisando os casos extremos, observamos o seguinte: quando $K=0$ o canal é *Rayleigh* (isto é, o numerador é zero) e quando $K = \infty$, o canal é AWGN (isto é, o denominador é zero) [STAL02] [LEE93].

5.3.4 E_b/N_o

Existe um parâmetro, relacionado a SNR (*Signal-Noise Ratio*), que é mais conveniente para determinar taxas de dados digitais e taxas de erros que é o padrão de medida de qualidade para a performance de sistemas digitais. Esse parâmetro é a relação entre a energia do sinal por *bit* e a densidade de potência do ruído em Hertz, E_b/N_o . A relação E_b/N_o é importante porque a BER para dados digitais é expressa em função (decrecente) dessa razão. Portanto, observe que quando a taxa de *bits* R aumenta, a potência do sinal transmitido, em relação ao ruído, deve aumentar para manter o E_b/N_o requerido [SKLA93]. A relação entre as fórmulas E_b/N_o e SNR é a seguinte:

$$E_b/N_o = S/(N_oR)$$

Em diversas ocasiões, o ruído é suficiente para alterar o valor de um *bit*. Se a taxa de dados for dobrada, os *bits* deverão ser empacotados juntos, e a mesma passagem de

ruído podem destruir em vez de um, dois *bits*. Então, podemos concluir que para uma potência de sinal e de ruído constantes, um incremento na vazão incrementará a taxa de erros. A vantagem da fórmula E_b/N_o em relação a SNR é que a qualidade da última depende da largura de banda. O nível da E_b/N_o em algumas simulações é ajustado para demonstrar claramente a sua influência no decréscimo ou acréscimo da taxa de erros (BER) [STAL02] [LEE93].

5.4 Métricas

As métricas obtidas com as simulações forneceram parâmetros essenciais para a análise e avaliação da eficiência do processo de encaminhamento de tráfego pelo W-CDMA. Neste estudo não são considerados aspectos relativos ao atraso dos *frames* no processo de encaminhamento de tráfego, pois as simulações e análises realizadas através deste estudo são baseadas apenas nos canais de *downlink* e *uplink*, portanto, não consideram o núcleo (*core*) da rede e mecanismos de FEC (*Forward Error Correction*) [UMTS111].

O atraso no processo de transmissão de frames ocorre e deve ser mensurado a partir da FEC e no core da rede. Nos tópicos seguintes dessa seção, as métricas obtidas com as simulações são explicadas com mais detalhes.

5.4.1.1 Taxa de Dados

A taxa de dados significa a vazão de *bits* que está sendo efetivamente entregue ao receptor, no W-CDMA devido a alta largura de banda disponibilizada para transmissão, admite taxas de dados na ordem de 2 Mbps dependendo, é claro, do fator de expansão utilizado.

Mas as taxas de dados mais comuns estão na ordem de 384 kbps e normalmente 144 kbps, embora existam testes de campo, realizados por empresas que estão implantando o W-CDMA operacional em algumas cidades, indicando que as taxas reais estão bem abaixo do que as especificações sugerem. As baixas taxas de dados obtidas em testes de campo, apontam a interferência proveniente de vários tipos de ruídos como o principal fator degradante para a performance do W-CDMA [CDG].

As taxas de dados necessárias para atender as necessidades das classes de serviço estão diretamente relacionadas aos fatores de expansão empregados no momento da transmissão e, normalmente, acabam sendo influenciadas pelas taxas de erros, pois o fator de expansão pode ser aumentado para diminuir os erros na transmissão provocados por

uma série de interferências. ou seja, o aumento do fator de expansão incorre em uma diminuição da taxa de transmissão [FREE98].

Um outro aspecto importante a ser ressaltado é que os *frames* transmitidos não possuem somente dados de usuário, portanto, as taxas de *bits* efetivos de usuário são menores que taxas apresentadas por cada canal de tráfego (*downlink* e *uplink*) diferindo um pouco do que sugere [ADAC98]. Uma abordagem mais detalhada sobre as taxas de dados empregadas nos *links* de rádio é realizada na seção que trata da simulação e resultados.

5.4.1.2 BER

A *Bit Error Rate* juntamente com a taxa de dados são os principais parâmetros utilizados no processo de análise dos requisitos necessários para o encaminhamento eficiente de tráfego, pertencente a diferentes classes, via interface aérea do W-CDMA. Nas simulações realizadas um número considerável de *frames* transmitidos foi simulado sob as mais diversas condições para a obtenção das taxas de erros resultantes da simulação.

Todos os parâmetros utilizados nas simulações são os parâmetros indicados pela especificação do UMTS [UMTS112] e de outras simulações realizadas com o W-CDMA. Alguns parâmetros obtidos de outras simulações são utilizados nas simulações executadas neste trabalho de pesquisa, com o objetivo de comparar os resultados aqui obtidos com alguns resultados encontrados por outras simulações, tais como os encontrados em [MELI00] e [MELIS], no intuito de avaliar melhor a precisão deste estudo.

Portanto, os resultados obtidos em termos de taxas de erros e taxas de transmissão são parâmetros essenciais para especificar requisitos para o encaminhamento eficiente de tráfego via interface aérea do W-CDMA.

5.5 Técnicas de Avaliação

Dentre as técnicas utilizadas para avaliação de desempenho de sistemas, tais como simulação, medição e modelagem analítica, optou-se neste trabalho pela utilização da simulação em razão da disponibilidade da ferramenta de simulação para canais CDMA de banda larga WCDMASim desenvolvida pelo MPRG (*Mobile and Portable Radio Research Group*) da Universidade de Virginia (*Virginia Polytechnic Institute and State University*).

A ferramenta de simulação W-CDMASim, baseada no MATLAB™, implementa uma simulação sofisticada para os canais físicos do W-CDMA em conformidade com as especificações TS 125.211 e TS 125.213 do ETSI [MPRG02].

As simulações são executadas em função do número de *frames* transmitidos no *downlink* e no *uplink*, onde para a obtenção de cada uma das taxas de erros (BER), em relação a cada parâmetro de comparação utilizado (velocidade, fator de expansão e etc). Foram executadas simulações que transmitiram 300 (trezentos) *frames*, em 6 (seis) diferentes etapas e, finalmente, a taxa de erros para cada um dos cenários é obtida através da média de erros encontrada considerando as 6 (seis) repetições da mesma simulação para cada um dos cenários.

O tempo de simulação para transmissão de 300 *frames*, dependendo da quantidade de elementos que o conjunto de cada parâmetro possuía e da configuração do computador (listadas no Apêndice A) no qual foi executada a simulação, levou de 3h a 12h. O tempo total de simulação foi de aproximadamente 220 h. O apêndice A traz um breve tutorial sobre o WCDMASim e informações sobre como adquiri-lo. Serão também disponibilizados aos interessados todos os programas utilizados para otimizar o processo de simulação reduzindo o tempo gasto pelas simulações e minimizando bastante a constante interação requerida pelo simulador para executar as simulações.

5.6 Parâmetros da Simulação

Os requisitos estabelecidos para o encaminhamento eficiente de tráfego são baseados na análise das taxas de erros (BER) e taxas de dados (vazão) obtidas nas simulações. Dessa forma, os parâmetros utilizados foram os seguintes: velocidade da estação móvel, número de canais concorrentes no *downlink*, fator de expansão, E_b/N_o , número de usuário provocando interferência, número de DPDCHs no *uplink*.

Embora existam inúmeros outros parâmetros que poderiam ser analisados, os parâmetros aqui aplicados às simulações são os que mais podem influenciar no processo em questão analisado por este trabalho.

5.7 Simulação e Resultados

Os resultados obtidos com as simulações estão demonstrados em duas partes, uma que trata do *downlink* (estação base para móvel) e outra do *uplink* (estação móvel para base). O comportamento de cada um dos fatores que pode influenciar na performance do

W-CDMA e a relação destes fatores com os cenários de mobilidade são estudados e analisados com base nos resultados obtidos através de exaustivas simulações. Os resultados obtidos para cada um dos cenários em relação a cada um dos parâmetros avaliados são agrupados em um mesmo gráfico com o objetivo de melhor comparar os efeitos ocorridos sobre o encaminhamento de tráfego.

5.7.1 *Downlink*

No *downlink* a estação base, apesar de todos os mecanismos implementados além dos mecanismos inerentes a tecnologia de controle de acesso ao meio, sofre inúmeras interferências que corrompem os *frames* transmitidos e, conseqüentemente, o nível mínimo de qualidade de serviço para alguma classe específica de tráfego ficar comprometida, inviabilizando o tráfego de uma determinada classe sobre o cenário em questão. Os parâmetros analisados para o *downlink* nos quatro cenários de mobilidade são: velocidade da estação móvel, vazão, nível de E_b/N_o , número de canais de *downlink*.

Existem três detalhes importantes a serem ressaltados que estão relacionados às taxas de dados disponibilizadas pelos canais de *downlink* do W-CDMA. Primeiro, as taxas de dados disponibilizadas pelos canais físicos estão relacionadas à estrutura dos campos e a quantidade de *bits* transportada por cada canal, portanto, as taxas de dados transmitidas estão atreladas a estrutura dos canais físicos utilizados no momento da transmissão.

Segundo, as taxas de dados utilizadas nas simulações, devido à estrutura dos canais físicos de *downlink*, são as taxas mais próximas das especificadas para cada cenário. A Tabela 5.4 apresenta as taxas de dados empregadas nas simulações para cada um dos cenários de mobilidade. E por último, a taxa de dados de usuário é bem menor que a taxa de dados total entregue ao receptor, pois esta última contém, além de dados de usuário, informações sobre formato de transporte, controle de potência e sinalização.

A taxa de dados efetiva de usuário depende da quantidade *bits* disponíveis nos campos de dados que compõem a estrutura do canal (veja a **Tabela 4.5**). As taxas de dados utilizadas nas simulações obedecem a estrutura dos canais de *downlink* e *uplink* e, além disso, estão em conformidade com as taxas definidas com parâmetros mínimos de QoS para cada cenário. Nas simulações explanadas neste capítulo através dos gráficos todas as referências são feitas em relação às taxas de dados totais entregues ao receptor.

Ainda com relação às simulações, além do DPDCH que transporta os dados do usuário que está atualmente transmitindo os *frames*, para propósitos de aproximar de uma situação de real de utilização dos recursos de uma estação base foram acrescentados

alguns canais DPDCHs, de outros usuários disponibilizados pela mesma estação base, considerando que esta última não está servindo a um único usuário a cada instante.

Cenário	Fator de Expansão	Taxa Especificada	Taxa de Dados Total	Taxa de Dados de Usuário
Indoor	4	2.048 Mbps	1.92 Mbps	1.872 Mbps
Pedestre	16	384 kbps	480 kbps	432 kbps
Veicular Urbano	16	384 kbps	480 kbps	432 kbps
Veicular Rural	32	144 kbps	240 kbps	210 kbps

Tabela 5.4. Taxas de Dados para cada Cenário.

5.7.1.1 Velocidade da Estação Móvel

A velocidade das estações móveis é um fator determinante na caracterização dos cenários de mobilidade, ou seja, em cada cenário, o W-CDMA deve garantir um determinado nível de serviço para que ocorra a entrega eficiente de *frames* de acordo com os parâmetros de velocidade máxima admitidas para cada cenário. Devido à importância de velocidade para os cenários de mobilidade e por ser um fator de difícil controle, o desempenho do W-CDMA de acordo com a variação da velocidade é analisado em três diferentes situações.

Os cenários implementados para as simulações foram configurados com o objetivo de analisar o comportamento das taxas de erros em relação à velocidade da estação móvel, onde diferentes taxas de dados são empregadas.

O Gráfico 5.1 mostra a taxa de erros com a vazão para cada cenário na ordem de 1.92 Mbps, embora a taxa de dados de usuário efetiva seja 1.872 Mbps. As altas taxas de erros observadas mesmo quando a velocidade das estações móveis é muito baixa (3 mk/h) são ocasionadas principalmente pelo fator de expansão muito baixo empregado para maximizar a vazão, e conseqüentemente, a transmissão não é suficientemente robusta para resistir aos severos obstáculos intrínsecos a interface aérea.

As taxas de dados utilizadas em cada cenário podem ser obtidas facilmente através de um cálculo muito simples basta considerar que cada *slot* possui 2560 *chips*. Se dividirmos esse número pelo fator de expansão e o número encontrado for multiplicado pelo número de *slots* por *frame* teremos, então, a taxa de dados em um determinado cenário, para mais detalhes veja a seção 5.2.2.

Variação da Velocidade com a Vazão Máxima

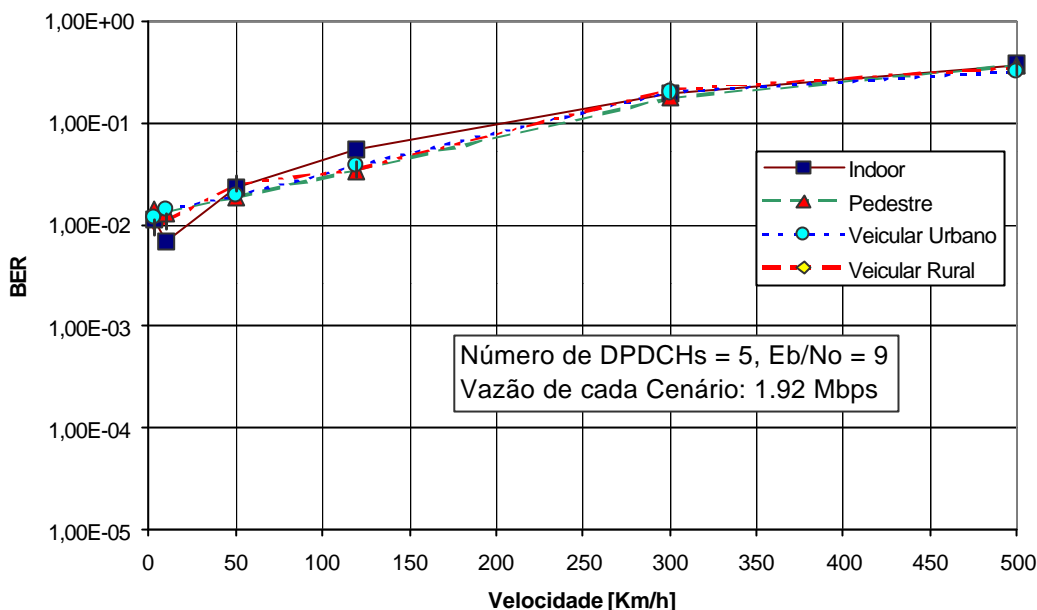


Gráfico 5.1. Variação da BER em Relação à Velocidade com a Vazão de 1.92 Mbps Transmitida em cada Cenário.

No Gráfico 5.2 está comprovado que o aumento do fator de expansão, ou seja, um *chip* com tamanho de 32 *bits* para cada *bit* de dados, diminui a taxa de erros principalmente para velocidades abaixo de 50 km/h.

Um fator importante a ser ressaltado é o desempenho do W-CDMA observado para o cenário pedestre, apesar de ser um ambiente mais hostil que o *indoor*, a taxa de erros é bem menor que no cenário *indoor* mesmo este último, de acordo com a especificação, ter sido definido para trabalhar com taxas de dados bem mais elevadas.

O Gráfico 5.3 mostra o desempenho do W-CDMA em cada um dos cenários onde os mesmos foram configurados, não mais com as taxas máxima e mínima, mas com as taxas de dados definidas de acordo com as especificações de cada cenário. Apesar do Gráfico 5.3 apresentar taxas de erros parecidas com as taxas do Gráfico 5.2, alguns cenários mantêm um desempenho pior do que o esperado. É o caso do cenário *indoor*, o qual apresenta taxas de erros bem acima do esperado mesmo operando a uma velocidade muito baixa. Isso demonstra que as taxas de dados anunciadas para ambientes *indoor* não são alcançadas a níveis satisfatórios para a implementação de algumas classes de serviço como, por exemplo, aquelas que requerem $BER \leq 10^{-3}$.

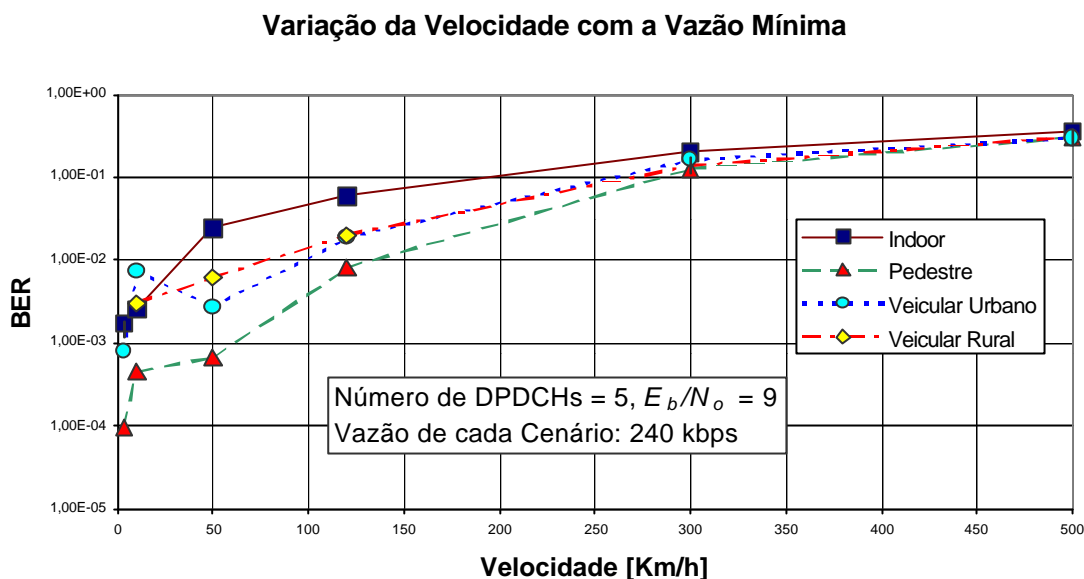


Gráfico 5.2. Variação da BER em Relação à Velocidade com a Vazão de 240 kbps Transmitida em cada Cenário.

Os cenários veicular urbano e rural apresentam desempenhos satisfatórios em velocidades abaixo de 100 km/h, no entanto, se analisarmos a BER nas velocidades específicas definidas como parâmetros de caracterização de cada cenário, veremos que a BER aumenta sobretudo se for alcançada a velocidade que caracteriza o cenário veicular rural (500 km/h).

Como pode ser observado nos três gráficos apresentados relacionados a velocidade da estação móvel, o cenário veicular rural, mesmo apresentando um fator de expansão maior que os dos outros cenários, não oferece taxas de erros a níveis aceitáveis para a grande maioria dos serviços, devido a altíssima velocidade em que o tráfego deve ser encaminhando via interface aérea. Apesar disso, cenário pedestre microcelular apresenta as menores taxas de erros mesmos em velocidades bem acima do especificado para a manutenção do nível de serviço desse cenário.

Com relação ao nível mínimo de qualidade de serviço, definido em termos de BER e taxa de dados, a ser disponibilizado para as classes de serviço que deverão ser implementadas sobre um determinado cenário, a velocidade da estação móvel, comprovadamente é um sério impedimento para a eficiência do encaminhamento de tráfego via interface aérea e para a manutenção do nível de QoS.

Variação da Velocidade com a Vazão Específica de Cada Cenário

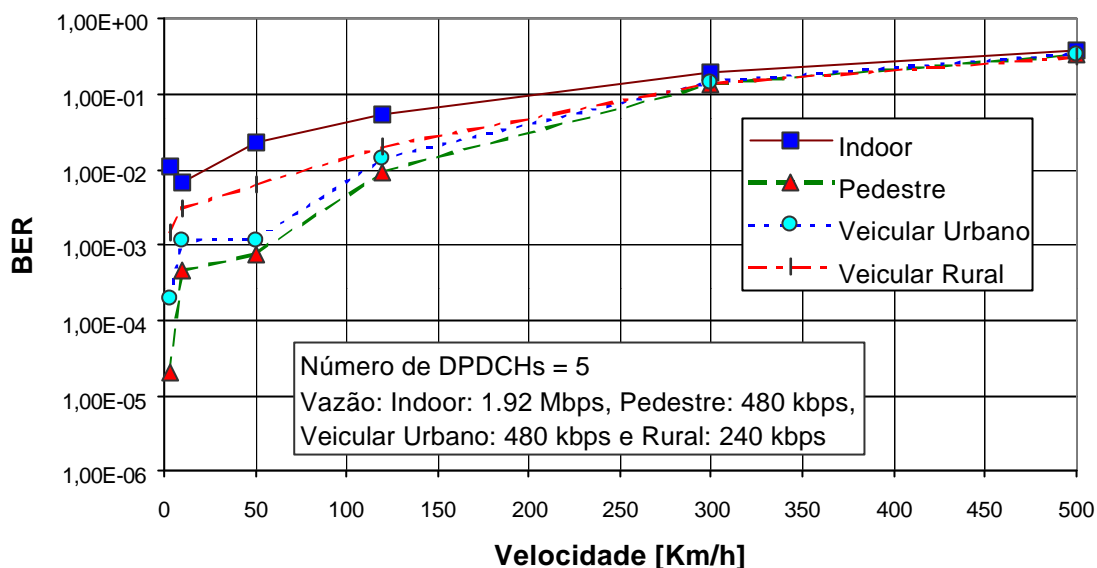


Gráfico 5.3. Variação da BER em Relação à Velocidade com a Vazão Específica de cada Cenário.

As Classes de serviço UDD e LCD, por exemplo, teriam seus principais requisitos satisfeitos e poderiam ser implementadas sobre os cenários pedestre e veicular urbano, com algumas pequenas restrições para o veicular urbano no qual alguns serviços que requerem $BER < 10^{-4}$ teriam problemas para serem implementados devido às taxas de erros, que podem ser observadas no Gráfico 5.3.

O cenário pedestre é o mais propício para implementação de todos os serviços por oferecer as menores taxas de erros, principalmente, as velocidades abaixo de 50 km/h. Porém, o cenário *indoor* ao contrário do esperado apresenta taxas de erros elevadas devido ao alto grau de interferência, resultado da grande concentração de usuários em um mesmo cenário. Uma solução para diminuir as taxas de erros no cenário *indoor* é aumentar o fator de expansão e, conseqüentemente, diminuir a taxa de dados, como pode ser observado no Gráfico 5.2.

5.7.1.2 Relação Sinal-Ruído (E_b/N_o)

A relação entre a energia do sinal por bit e a densidade de potência do ruído (E_b/N_o) e a sua influência na BER pode ser observada no Gráfico 5.4 o qual indica que um aumento no nível da E_b/N_o implica em uma sensível diminuição da BER, principalmente para os cenários indoor e pedestre.

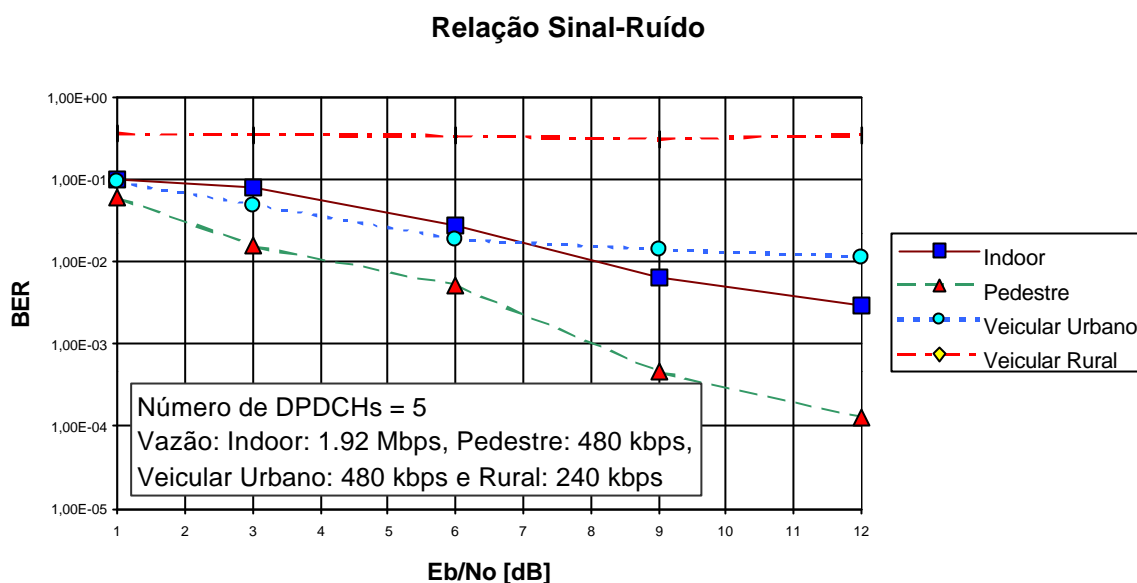


Gráfico 5.4. Variação da E_b/N_o em Relação a BER.

Nos cenários veicular urbano e rural o simples aumento da E_b/N_o não surte efeitos significativos sobre o decréscimo da BER. Em ambos os cenários, apesar da pequena queda, a BER manteve os patamares de 10^{-2} para o cenário veicular urbano e de 10^{-1} para o veicular rural.

No entanto, estudos através de simulações indicam que o aumento da E_b/N_o associada a outros fatores como aumento do fator de expansão resultam em um decréscimo considerável da BER, embora, é claro, haja uma queda na taxa de dados entregue ao receptor. Porém, o aumento da E_b/N_o deve ser executado de forma cautelosa, pois o simples aumento da potência do sinal em relação ao nível do ruído pode resultar em um aumento da interferência entre as estações.

5.7.1.3 Número de Canais Concorrentes no *Downlink*

O DPDCH é um canal físico dedicado de *downlink* que é transmitido multiplexado no tempo com o DPCCCH. Onde o DPDCH permite a multiplexação de múltiplos serviços sobre a mesma conexão, sobre um ou vários DPDCHs, que neste último caso são transmitidos em paralelo [PRAS98]. A transmissão dos vários DPDCHs em paralelo poderia degradar a performance do encaminhamento de tráfego no *downlink*, mas mecanismos

avançados de controle de potência e transmissão multicódigo tornam o impacto do aumento do número de DPDCHs pouco significativo.

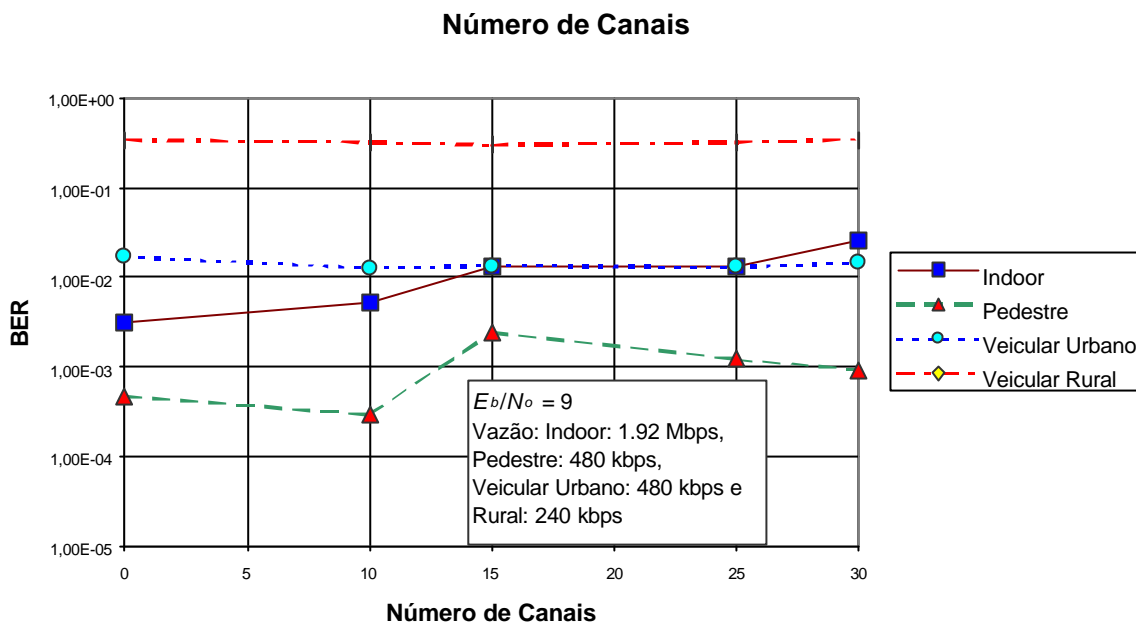


Gráfico 5.5. Aumento do Número de DPDCH no *Downlink* e a Influência na BER.

Apesar de alguns cenários como indoor e pedestre serem mais afetados que outros cenários, o pequeno aumento na BER não pode ser visto como um obstáculo para a implementação de quaisquer classes de serviço, pois várias classes de serviço podem ser transmitidas sobre uma mesma conexão através da utilização, especialmente, de vários DPDCHs. O aumento do número de DPDCHs e o impacto desse aumento sobre a BER é analisado no Gráfico 5.5.

5.7.1.4 Fator de Expansão e Vazão

O fator de expansão apesar de diminuir a vazão dos dados influi consideravelmente na BER, de forma que quanto maior for o fator de expansão menor é a BER. Esse fato que pode ser observado, principalmente em ambientes com pedestre e indoor nos quais as taxas de erro sofreram uma queda significativa, como pode ser observado no Gráfico 5.6.

No cenário *indoor*, mesmo com seu comportamento pouco comum para um cenário que deveria apresentar uma performance satisfatória a altas taxas de dados, o aumento do fator de expansão provoca uma queda da BER a um nível considerado mais do que satisfatório, apesar do alto fator de expansão incorrer em uma vazão muitíssimo baixa.

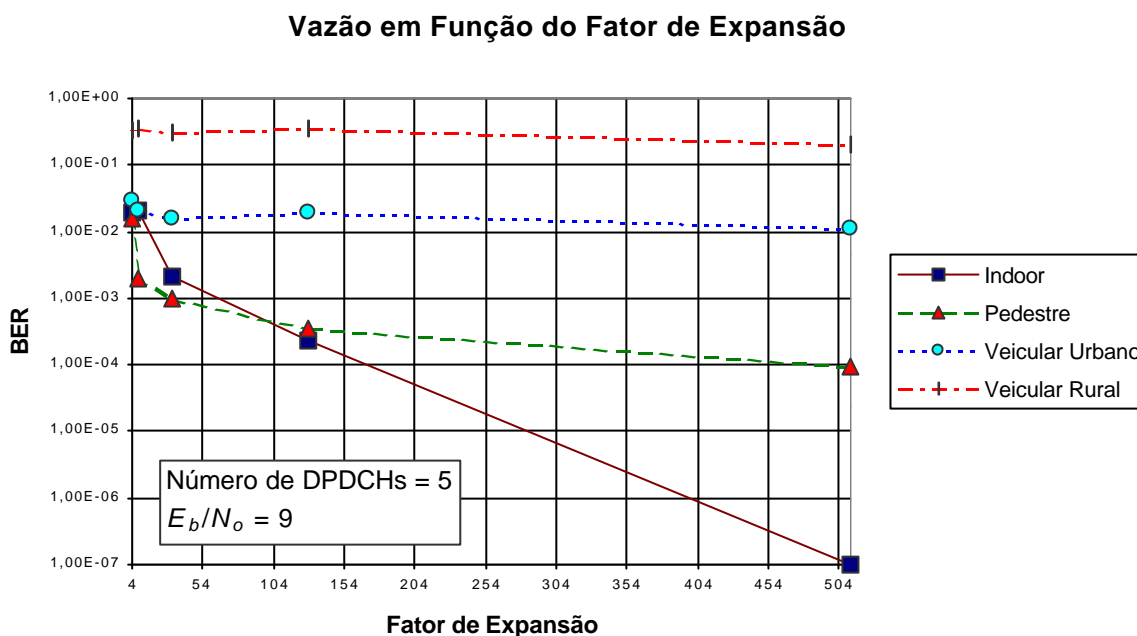


Gráfico 5.6. Relação entre Aumento do Fator de Expansão e a BER.

Portanto, para cada classe serviço e seus requisitos específicos em termos de BER e vazão o fator de expansão deve ser ajustado para que um denominador comum seja encontrado e, por conseguinte, a maior vazão possa ser alcançada a uma BER aceitável.

5.7.1.5 Considerações sobre a Performance dos Canais de *Downlink*

De acordo com os dados evidenciados através dos gráficos, a performance do W-CDMA está intimamente relacionada a velocidade da estação móvel e ao fator de expansão empregado na modulação do sinal de dado. Embora a velocidade seja um obstáculo, devido a variação na BER que a mesma provoca, um aumento do fator de expansão contribui significativamente para diminuir a BER.

O número de canais transmitidos em paralelo no *downlink* não é visto como um fator que degrada a performance do W-CDMA, graças aos mecanismos implementados para gerenciar estes canais separadamente, assim como a transmissão multicódigo.

Considerando que o aumento da E_b/N_o deve ser conduzido com muito cuidado devido ao perigo de aumentar a interferência entre as estações base, definitivamente, qualquer mecanismo de encaminhamento de tráfego para ser eficiente não deverá considerar transmissões a altas taxas de dados e nem grandes velocidades envolvidas nas transmissões.

A interface aérea apesar de oferecer vantagens incontestáveis como a mobilidade e onipresença dos serviços que a mesma transporta, ainda continua sendo um meio de características severas até mesmo para mecanismos sofisticados como o W-CDMA que tentam encaminhar tráfego de quaisquer classes de serviço de forma eficiente.

O suporte para o tráfego das diversas classes de serviço em termos de vazão e BER pode ser garantido para as classes de serviço de diálogo e UDD, as quais requerem taxas de dados que podem ser oferecidas em conformidade como as taxas de erros exigidas. Contudo, alguns serviços pertencentes à classe de serviço LCD, tais como vídeo de baixa resolução, encontrarão obstáculos para serem implementados devido às baixas taxas de erros exigidas.

Embora, a vazão requerida para a classe de serviços LCD esteja na ordem de 144 kbps, as simulações indicam que para diminuir a BER aos níveis exigidos pelos serviços LCD o aumento do fator de expansão e provavelmente o aumento da E_b/N_o devem ser empregados, isto é, a vazão alcançada no *downlink* é bem menor que a vazão prometida pela especificação do W-CDMA.

Portando, podemos concluir que para fornecer às diferentes classes de serviços os requisitos específicos exigidos por cada uma é necessário que mecanismos eficientes de condicionamento de tráfego e modelagem sejam implementados para permitir que o W-CDMA possa disponibilizar recursos para fornecer o nível de QoS requerido por alguma classe de serviço específica em um determinado momento.

5.7.2 *Uplink*

Em relação ao *downlink*, o tráfego do *uplink* é encaminhado em uma escala muito menor e, dessa forma, as taxas de dados consideradas para o *uplink* são bem inferiores as do *downlink*. Um fator de expansão maior do que o fator empregado para os cenários no *downlink* é aplicado para o *uplink*, sobretudo, porque a estação móvel não implementa tantos mecanismos para combater a interferência quanto a estação base.

O W-CDMA implementa mecanismos sofisticados para viabilizar a entrega de dados a uma alta vazão e minimizar a BER e, além disso, tenta evitar o impacto destes

mecanismos sobre a complexidade da estação móvel. Apesar disso, em alguns casos não é possível evitar o impacto destes mecanismos sobre a complexidade da estação como é o caso da transmissão multicódigo, a qual mapeia serviços encaminhados em paralelo sobre diferentes DPDCHs [PRAS98].

Dessa forma, a análise do encaminhamento de tráfego via *uplink* é dirigida por quatro critérios, os quais causam grandes impactos sobre a performance do W-CDMA. Os parâmetros aqui analisados são o fator de expansão, o número de usuários que causam interferência sobre o canal de tráfego utilizado no momento, a E_b/N_o e, é claro, a velocidade da estação móvel. Um aspecto importante a ser considerado é que a interferência *multipath* foi considerada em todas as simulações do *uplink*.

5.7.2.1 Velocidade da Estação Móvel

Nesta seção a velocidade da estação móvel é analisada sobre o aspecto de transmissão via *uplink*. O Gráfico 5.7 comprova que as estações móveis utilizando um fator de expansão relativamente pequeno não são muito sensíveis às mudanças de velocidade, no entanto, é importante observar que as transmissões das estações em cada cenário estão sofrendo interferência de duas outras estações móveis ($\text{interferers} = 2$), com exceção do cenário veicular rural que devido a sua baixa densidade demográfica foi modelado sem nenhuma interferência proveniente de outras estações móveis.

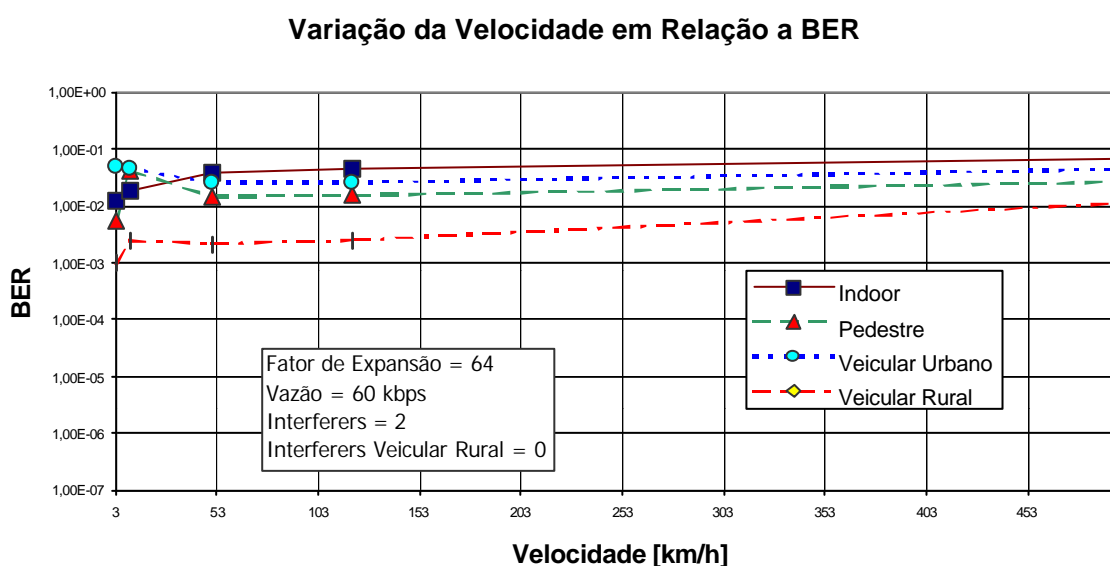


Gráfico 5.7. Relação entre a Velocidade da Estação Móvel e a BER no *uplink*.

A interferência proveniente de outras estações móveis exerce um efeito considerável sobre a taxa de erros provocando um aumento substancial da BER, ao menor sinal da interferência proveniente de outras estações móveis. Essa interferência foi modelada considerando a interferência *multipath* sobre as próprias estações móveis que causam interferência sobre a transmissão de *frames* que está sendo simulada. O efeito da interferência discutida acima está evidenciado no Gráfico 5.9.

5.7.2.2 Relação Sinal-Ruído (E_b/N_o)

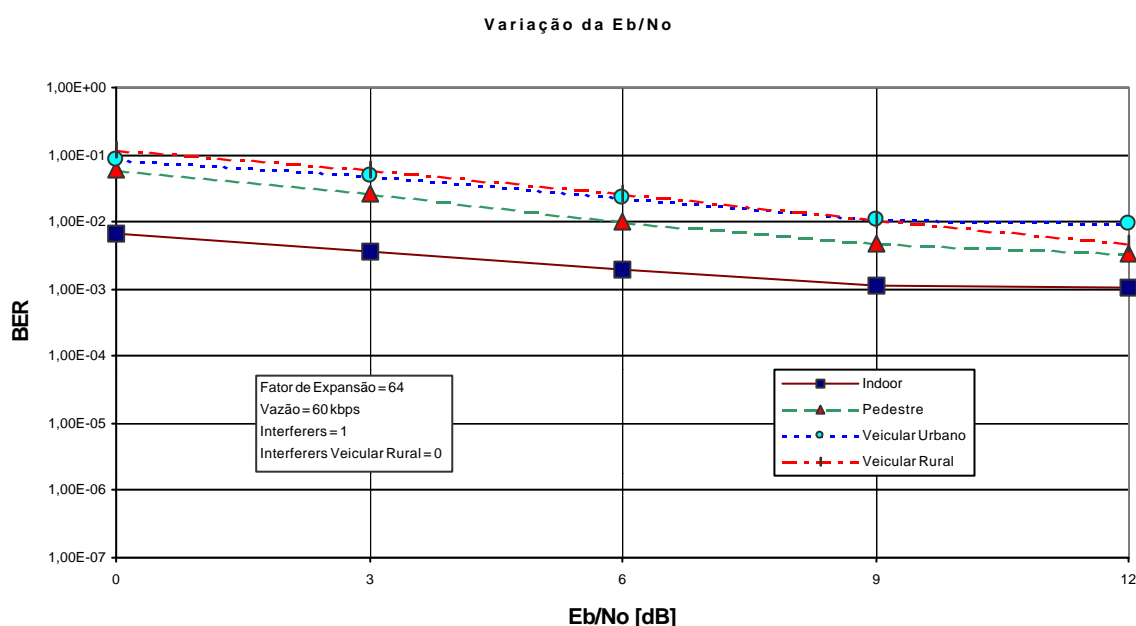


Gráfico 5.8. Variação da E_b/N_o em Relação a BER no Uplink.

O efeito do aumento da potência do sinal em relação ao nível do ruído no *uplink* não é tão significativo quanto no *downlink* como pode ser observado no Gráfico 5.8. Qualquer mudança significativa em relação a mecanismos implementados nas estações móveis aumenta substancialmente a complexidade destas estações, de forma que isso pode se tornar um efeito cumulativo a ponto de inviabilizá-las operacionalmente e comercialmente.

Apesar do fator de expansão empregado contribuir significativamente para a diminuição da BER e a interferência considerada nas simulações indicadas no Gráfico 5.8 ser menor que a interferência modelada no Gráfico 5.9, o aumento da E_b/N_o não contribui para a diminuição da BER como pode ser observado no ponto onde a E_b/N_o é igual a 9 dB

(valor aplicado nas simulações) e tem seu valor aumentado para 12 dB, ou seja, a BER permaneceu no mesmo patamar de 10^{-3} .

5.7.2.3 Número de Estações Móveis Interferindo em uma Transmissão

Para as estações móveis, o efeito causado pela interferência proveniente de outras estações móveis, especialmente nos cenários *indoor* e pedestre, é devastador para o processo de encaminhamento de tráfego. Isto é, o simples acréscimo de qualquer estação que provoque interferência em uma estação que está transmitindo no momento contribui para um aumento tão grande da BER, que tornaria inviável a implementação de quase todas as classes de serviço. A única classe de serviço que suportaria o alto grau de interferência provocado pelas estações móveis vizinhas seria a classe UDD.

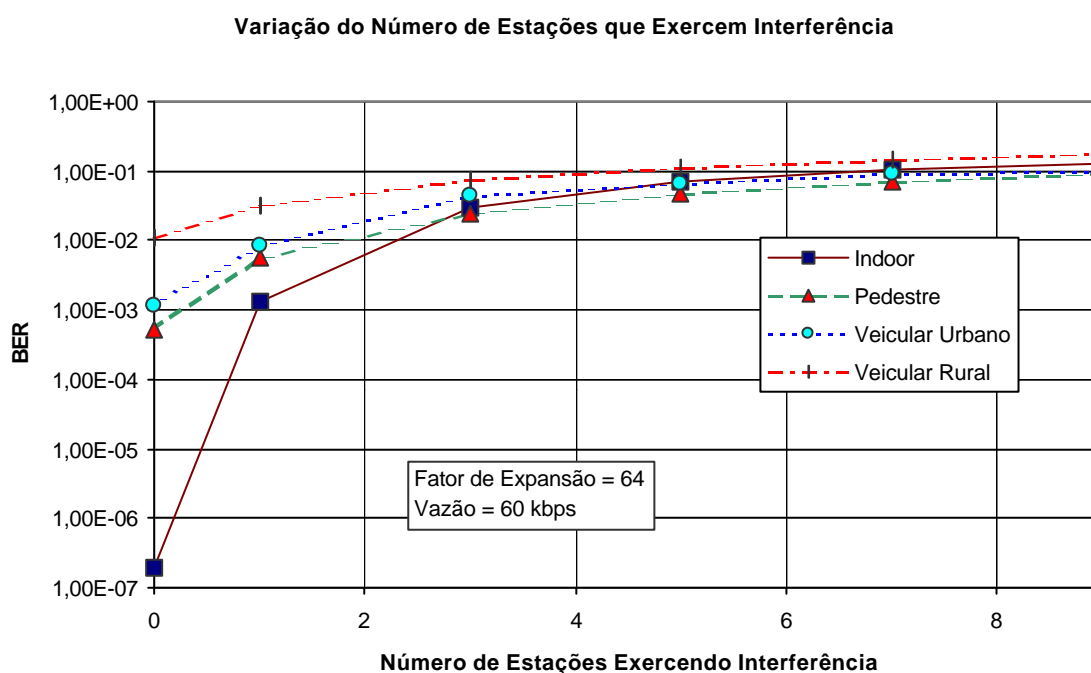


Gráfico 5.9. Relação entre o Número de EM Interferindo na Transmissão e a BER.

A interface aérea tem algumas modalidades de interferência tais como o ruído e o *multipath fading* que são totalmente inerentes ao meio de transmissão, portanto, podem ser combatidos mas não eliminados, exceto em ambientes como o veicular rural onde a posição das estações rádio base é escolhida para evitar certos obstáculos, como morros e montanhas. Além disso, o efeito destrutivo ocasionado pelas estações móveis umas sobre

as outras agrava o nível de interferência já existente na interface de rádio, resultando em um aumento significativo na taxa de erros como pode ser observado no Gráfico 5.9.

5.7.2.4 Fator de Expansão e Vazão dos Dados no Uplink

Para cada *bit* transmitido a modulação *spread spectrum* utiliza uma seqüência de *bits* denominada *chip* para simbolizar a transmissão de cada *bit*. Esse processo chamado de expansão do sinal de informação, aumenta a largura de banda da informação tornando-a mais difícil de ser corrompida por fontes de interferência, ao mesmo tempo em que dificulta a interceptação dessas informações por agentes hostis.

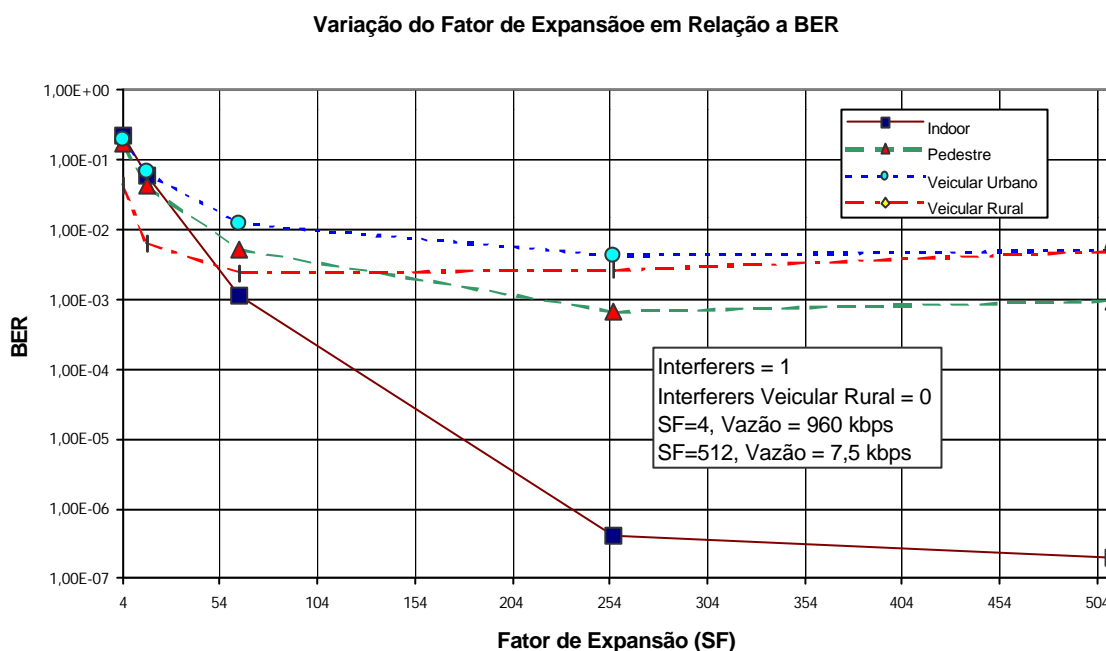


Gráfico 5.10. Relação entre Fator de Expansão, Vazão e a BER no Uplink.

Para cada *bit* de dado transmitido podem ser utilizados 4, 8, 16 e até 512 *bits* ou seqüência de *chips* para simbolizar esses dados. Conseqüentemente, a taxa de dados de usuário diminui a medida em que o número de *bits* por *chip* aumenta, ou seja, quanto maior for a taxa de *chips* menor a taxa de dados de usuário. Cada *slot* que compõe um *frame* possui 2560 *chips*. Se o tamanho do código de expansão for, por exemplo, de 4 *bits* a taxa de dados será de 640 *bits/slot* (2560/4), como cada *frame* possui 15 *slots* a taxa de dados de usuário por *frame* é de 9600 *bits*. Portanto, a taxa de dados final é de 960 kbps, considerando que cada *frame* dura 10 ms.

Em todos os ambientes o simples aumento do fator de expansão diminui a taxa de erros, no entanto, em ambientes *indoor* esse aumento resulta em um declínio altíssimo da BER, pelo fato do cenário *indoor* sofrer grande nível de interferências ocasionado pela densidade de usuários em uma pequena área acessando a interface aérea.

O Gráfico 5.10 comprova que os demais cenários, apesar de apresentarem taxas de erros menores com o aumento do fator de expansão, não são sensíveis como o *indoor* ao aumento do fator de expansão. A queda brusca nas taxas de erros quando o fator de expansão passa a ser de 64 *bits* e a taxa de dados satisfatória transmitida quando se utiliza esse fator de expansão justificam a escolha desse fator para as simulações dos canais de *uplink*.

5.7.2.5 Consideração sobre a Performance dos Canais de *Uplink*

Alguns aspectos importantes podem ser observados após a análise dos dados obtidos com as simulações dos canais de tráfego do *uplink*. Um detalhe interessante que as simulações comprovaram foi o nível de interferência que as estações móveis exercem umas sobre as outras, indicando que o encaminhamento de tráfego no ambiente *indoor* não alcançará os níveis especificados para o mesmo em termos de BER e alta vazão. Existe uma característica do *uplink* que o beneficia em relação ao *downlink* que é a taxa de dados. No *uplink* as taxas de dados podem ser bem menores que no *downlink* por causa do fluxo de informações que é bem menor nesse sentido de transmissão. Portanto, fatores de expansão maiores podem ser aplicados aos canais de *uplink* e conseqüentemente reduzir os efeitos provocados pela interferência entre as estações, por exemplo, e por conseguinte diminuir os patamares da BER.

Outro aspecto a ser observado é a E_b/N_o que tem um efeito ameno no *uplink* se for comparado ao *downlink*. Mais do que no *downlink*, o aumento na E_b/N_o no *uplink* irá provocar um aumento nos níveis de interferência entre as estações móveis, portanto, antes de qualquer alteração neste parâmetro o nível de interferência provocado pelo acréscimo pretendido deve ser mensurado e o impacto sobre o processo de encaminhamento de tráfego analisado.

Capítulo 6.0

Conclusões

Neste capítulo são feitas as considerações finais a respeito do estudo realizado através deste trabalho de pesquisa. Dessa forma, são descritos as contribuições, dificuldades encontradas e os trabalhos a serem realizados com o objetivo de expandir o estudo iniciado nesta dissertação.

6.1 Considerações Finais

O objetivo deste trabalho de pesquisa é avaliar o nível de interferência que cada um dos fatores (velocidade, fator de expansão, E_b/N_o , etc) considerados exerce sobre a performance do W-CDMA e a influência dos mesmos no processo de encaminhamento de tráfego. Portanto, através das simulações realizadas foi possível avaliar com maior abrangência o quanto é afetada a performance do W-CDMA no processo de encaminhamento de tráfego.

Através dos gráficos obtidos com as simulações foi possível estabelecer uma série de requisitos necessários para melhorar a performance do W-CDMA e, além disso, foi possível constatar que os parâmetros de performance estabelecidos pelas especificações do ETSI não podem ser alcançados facilmente, mesmo que vários dos requisitos necessários sejam satisfeitos simultaneamente. Dessa forma podemos concluir que a interface aérea apresenta sérios impedimentos para que o W-CDMA possa encaminhar tráfego a altas taxas de dados e, principalmente, que taxas de erros (BER) na ordem de 10^{-6} sejam alcançadas.

Portanto, através das pesquisas desenvolvidas e das simulações realizadas foram obtidos subsídios suficientes para concluir que para alcançar níveis de BER baixíssimos (na ordem de 10^{-6}), além de considerar os mecanismos estudados, devemos recorrer a técnicas de codificação como Reed-Solomon para alcançar taxas na ordem de 10^{-6} para prover QoS suficiente, para classes de serviço que requerem tais níveis de BER.

Além disso, retransmissões podem ser consideradas para garantir a QoS suficiente para serviços não *real-time*. Contudo, mesmo alcançando os níveis de BER requeridos pelas aplicações, as altas taxas de dados especificados pelo ETSI para o W-CDMA não serão alcançadas, até mesmo porque o *overhead* inerente a mecanismos como Reed-Solomon diminuem sensivelmente a quantidade de *bits* de usuário por *frame* enviado para garantir a correção de erros no receptor. Mesmo assim, as classes de tráfego podem ter garantias quanto as taxas de dados requeridas, pois como pode ser observado na Tabela 5.3 a maior taxa de dados requisitada pelas classes de tráfego é de 384 kbps.

6.2 Dificuldades Encontradas

A principal dificuldade encontrada foi a estruturação dos procedimentos das simulações, de forma que para definir as simulações e, conseqüentemente, proceder as execuções foi necessária a realização de uma intensa pesquisa sobre a estrutura das três camadas inferiores do UMTS. A complexidade da estrutura dos canais de tráfego dificulta o

estabelecimento de uma relação clara entre os canais de tráfego e o processo de encaminhamento eficiente de tráfego pelo W-CDMA.

Outra dificuldade encontrada, após ter sido superada a fase inicial de pesquisa a respeito da ferramenta de simulação a ser utilizada, foi a utilização da ferramenta de simulação para realização das simulações a qual, apesar da interface gráfica, exigia constante interação e não agilizava de forma nenhuma o processo de execução das intensivas simulações.

6.3 Contribuições

O estudo e a descrição do estado da arte do W-CDMA possibilitou a identificação de diversos fatores que poderiam influenciar na sua performance, além de permitir que através da abordagem da evolução do CDMA em direção ao W-CDMA, fosse possível conhecer os avanços pelos quais passou o padrão IS-95 e caracterizar a nova tecnologia de acordo com os novos mecanismos e técnicas implementados.

Uma contribuição fundamental para o perfeito entendimento dos objetivos deste trabalho de pesquisa e das simulações realizadas através do WCDMASim, foi a descrição da camada física do W-CDMA que abordou a complexa estrutura dos diversos tipos de canais (físicos, lógicos e de transporte), serviços oferecidos a outras camadas, funções realizadas por cada camada, mecanismos de compatibilização de taxa de transferência, modelos de operação para transferência de dados, modulação, expansão, multiplexação e métricas realizadas por cada uma das camadas, dentre outros.

No entanto, a principal contribuição desta tese é a identificação do nível de interferência que os diversos fatores associados a interface aérea do W-CDMA exercem sobre a transmissão de *frames* em cada um dos quatro modelos de ambientes de propagação (cenários) definidos pelo ETSI. Como o comportamento de cada um dos cenários, de acordo com o parâmetro avaliado (como por exemplo, velocidade), foi projetado sobre o mesmo gráfico é possível comparar que cenários são mais propícios ou oferecem menos impedimentos para a implementação de alguma classe específica de tráfego.

Outra contribuição importante deste estudo foi oferecer, através dos resultados obtidos com as simulações, a possibilidade de identificar os níveis de BER em cada cenário de acordo com os parâmetros analisados que, conseqüentemente, possibilitou analisar a viabilidade de implementação das classes de tráfego sobre determinados cenários e que condições em cada cenário favoreciam a implementação de cada uma das classes ou, mais

ainda, que mecanismos inerentes ao contexto analisado podem ser implementados para melhorar ou até mesmo viabilizar a implementação de alguma classe de tráfego específica.

Como as simulações consideraram os canais de *downlink* e *uplink* separadamente e os parâmetros analisados foram considerados para ambos os canais e sobre cada um dos cenários, dessa forma, foram fornecidos subsídios para que o desempenho dos canais pudesse ser comparado e a capacidade de ambos melhor mensurada, facilitando a identificação dos parâmetros do W-CDMA que poderiam ser modificados (por exemplo, fator de expansão do *uplink*) para melhorar o processo de encaminhamento eficiente de tráfego.

Finalmente, com relação à execução das simulações a contribuição desta dissertação foi com relação a implementação de alguns programas, no ambiente MATLAB™, para otimizar o processo de execução das simulações. Embora o WCDMASim ofereça uma interface gráfica, esta não é adequada para o processo de execução intensivo de várias simulações, onde haja necessidade de variar alguns parâmetros para obter uma série de métricas, relacionadas a variação de um parâmetro específico que esteja sendo analisado. Se este processo fosse realizado utilizando apenas a interface gráfica e os mecanismos oferecidos pelo simulador, as simulações exigiriam a constante interação do usuário e o tempo de simulação ($\approx 110h$) para a obtenção dos resultados praticamente triplicaria.

6.4 Trabalhos Futuros

A seguir serão apresentadas sugestões para estender os estudos abordados por esta dissertação.

Como trabalho de extensão desta dissertação sugere-se o estudo dos fatores que exercem influência na performance do W-CDMA, no processo de encaminhamento das diversas classes de tráfego considerando o atraso ao qual o tráfego estará sujeito. Para desenvolver um estudo de acordo com os parâmetros analisados por esta dissertação considerando o atraso, o núcleo (*core*) da rede e os mecanismos de *Forward Error Correction* (FEC) devem ser simulados para que o atraso ocasionado por ambos possa ser mensurado. Procedimentos para mensurar corretamente o atraso estão descritos em [UMTS101] e [UMTS942]. Além disso, seria interessante analisar neste contexto o nível de influência da STTD na performance do W-CDMA. Embora a STTD contribua para minimizar a taxa de erros, a mesma provoca um atraso na transmissão de *frames* que deve ser considerado e melhor estudado.

Outro trabalho que pode ser desenvolvido é a análise da influência do controle de potência [NOVA00] sobre a performance do W-CDMA, juntamente com outros fatores que influenciam nesta performance como, por exemplo, o nível de E_b/N_o , ou seja, como o controle de potência pode combater e minimizar os efeitos que degradam a performance de transmissão de dados via interface aérea.

Um importante estudo a ser realizado seria a avaliação do impacto da utilização dos mecanismos de QoS implementados pelo UMTS, descritos em [UMTS107], sobre o processo de encaminhamento das diversas classes de tráfego definidas pelo ETSI.

Estendendo ainda mais o trabalho descrito acima, poderá ser realizado um estudo sobre o mapeamento de mecanismos de QoS implementados na Internet, como o DiffServ, para oferecer provisionamento de QoS para o núcleo (core) do UMTS através de políticas de condicionamento de tráfego, escalonamento e gerenciamento de *buffer*. O estudo poderá se concentrar na especificação de mecanismos para compatibilizar as classes de tráfego definidas pelo UMTS, com os mecanismos implementados pelo DiffServ.

Outro trabalho importante que contribuiria de forma substancial para extensão dessa dissertação é o estudo sobre a segmentação de unidades de dados de protocolos das camadas superiores, quando estes últimos enviarem suas PDUs sobre a estrutura de canais de tráfego do UMTS. O nível da segmentação está relacionado diretamente ao tamanho da unidade de dados dos protocolos das camadas superiores a ser segmentada para que haja uma compatibilização com o tamanho da unidade de dados disponibilizada pelas camadas RLC e MAC, as quais irão encaminhar o tráfego proveniente das camadas superiores e entregá-lo a camada física. Dessa forma, haverá um impacto sobre o desempenho do W-CDMA quanto ao processo de transmissão de *frames* e, por conseguinte, os atrasos podem ser agravados inviabilizando a implementação de muitas classes de tráfego, portando, um estudo aprofundado poderia avaliar o impacto da segmentação no desempenho do W-CDMA e identificar soluções para minimizar o problema [SARI00] [KANTER].

Capítulo 7.0

Referências Bibliográficas

7.1 Referências

- [ADAC97] ADACHI, F., SAWAHASHI, M., OKAWA, K. **Tree-Structured Generation of Orthogonal Spreading Codes With Different Lengths for Forward Link of DS-CDMA Mobile Radio**. Proc. VTC 1997, Conf., May 1997.
- [ADAC98] ADACHI, F., SAWAHASHI, M., SUDA, H. **Wideband DS-CDMA for Next-Generation Mobile Communications Systems**. IEEE Comm. Magazine, pp. 56-69, Sep. 1998.
- [BERE02] BEREZDIVIN, R., BREINIG, R., TOPP, R. **Next-Generation Wireless Communications Concepts and Technologies**. IEEE Comm. Magazine, pp. 108-116, Mar. 2002.
- [BETT99] BETTSTETTER, C. *et al.* **GSM Phase 2+ General Packet Radio Service GPRS: Architecture Protocols, and Air Interface**. IEEE Comm. Surveys, Vol. 2, No. 3, Third Quarter 1999.
- [CAI97] CAI, J. GOODMAN, D. J. **General Packet Radio Service in GSM**. IEEE Comm. Magazine, Oct. 1997.
- [CDG] CDG. **CDMA DEVELOPMENT GROUP**. On-line na Internet no endereço: <http://www.cdg.org>.
- [CINT] CINTEZA, M., MARGHESCU, I., DRAGU, I. **Simulation Models for WCDMA**. University Politechnica of Bucharest.
- [DAHL98] DAHLMAN, E., GUDMUNDSON, B., NILSSON, M., SKÖLD, J. **UMTS/IMT-2000 Based on Wideband CDMA**. IEEE Comm. Magazine, pp. 70-80, Sep. 1998.
- [DEGE00] DEGERMARK, M., HANNU, H., JONSSON, L., SVANBRO, K. **Evaluation of CRTP Performance over Cellular Radio Links**. IEEE Personal Comm, pp. 20-25, Aug. 2000.
- [DEGER] DEGERMARK, M., ENGAN, M., NORDGREN, B., PINK, S. **Low-Loss TCP/IP Header Compression for Wireless Networks**. Lulea University. Lulea, Sweden.
- [DESI95] DESIMONE, A., NANDA, S. **Wireless Data: Systems, Standards, Services**. *Wireless Networks*, No. 1, pp. 241-253, 1995. AT&T Bell Labs., Holmdel, NJ.
- [DINA98] DINAN, E. H., JABBARI, B., MASON, G. **Spreading Codes for Direct Sequence CDMA and Wideband CDMA Cellular Networks**. IEEE Comm. Magazine, pp. 48-54, Sep. 1998.
- [EPHONE] EPHONES. **TDMA Vs. CDMA**. On-line na Internet no endereço: <http://www.ephones.com/resouces/tdmacdma.asp>.
- [ERIK00] ERIKSSON, G., OLIN, B., SVANBRO, K., TURINA, D. **The Challenges of Voice-Over-IP-Over-Wireless**. Ericsson Review, No. 1, pp. 20-31, 2000.

-
- [FALAHA] FALAHATI, S., *et. al.* **Future Improvements to Wideband CDMA**. Chalmers University of Technology, Sweden.
- [FREE98] FREEMAN, R. **Bits, Symbols, Bauds, and Bandwidth**. IEEE Comm. Magazine, pp.96-99, Apr. 1998.
- [GARG97] GARG, V., SMOLIK, K., WILKES, J. E. **Applications of CDMA in Wireless/Personal Communications**. Upper Slade River, NJ: Prentice Hall, 1997.
- [GONZAL] GONZÁLEZ, H., MONTERO, J. **System Level Simulator Test Scenarios Specification**. EURESCOM Project P921.
- [GUEDES] GUEDES, Leonardo. **Comunicações Móveis**. On-line na Internet no endereço http://www.eee.ufg.br/~lguedes/cm/cm_slides.htm.
- [GUST97] IEC. **Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) Tutorial**. The International Engineering Consortium. On-line na Internet no endereço: <http://www.iec.org>.
- [HAAR00] HAARDT, M., MOHR, W. **The Complete Solution for Third-Generation Wireless Communications: Two Modes on Air, One Winning Strategy**. IEEE Pers. Comm., pp. 18-24, Dec. 2000.
- [HIGU97] HIGUCHI, K., SAWAHASHI, M., ADACHI, F. **fast Cell Search Algorithm in DS-CDMA Mobile Radio Using Long Spreading Codes**. Proc. VTC '97 Conference, Phoenix, AZ. May 1997.
- [HONK02] HONKASALO, H., *et. al.* **WCDMA and WLAN for 3G and Beyond**. IEEE Wireless Comm., pp. 14-18, Apr. 2002.
- [IECa] IEC. **Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) Tutorial**. The International Engineering Consortium. On-line na Internet no endereço: <http://www.iec.org>.
- [IECc] IEC. **Global System for Mobile Communications (GSM)**. The International Engineering Consortium. On-line na Internet no endereço: <http://www.iec.org>.
- [IECd] IEC. **Personal Communications Service (PCS)**. The International Engineering Consortium. On-line na Internet no endereço: <http://www.iec.org>.
- [KAVE01] KAVEH, P., PRASHANT, K. **Principles of Wireless Networks**. 1st Edition. Upper Slade River. NJ: Prentice Hall, 2001.
- [LARZ00] LARZON, L., HANNU, H., JONSSON, L., SVANBRO, K. **Efficient Transport of Voice over IP over Cellular Links**. Lulea University of Technology & Ericsson Research, 2000.
- [LEE93] LEE, W.C., **Mobile Communications Design Fundamentals**. 2nd Edition. New York, NY. John Wiley & Sons, 1993.

-
- [LILLEY] LILLEY, J., *et al.* **A Unified Header Compression Framework for Low-Bandwidth Links**. MIT Lab. for Computer Science. Cambridge.
- [LIND00] LINDHEIMER, C., MAZUR, S., MOLNÖ, J., WALEIJ, M. **Third-Generation TDMA**. Ericsson Review, No. 2, pp. 68-79, 2000.
- [LINO98] LINO, Y., OOTSUKA, M., SHIMBO, I. **Personal Handyphone System in Urban Infrastructure**. Hitachi Review, No. 2, Vol. 47, 1998.
- [MALO98] MALOO, S., XHAFA, A. **Wideband CDMA**. CDMA Communications. Dec, 1998.
- [MANI02] MANIATIS, S., NIKOLOUZOU, E., VENIERIS, I. **QoS Issues in the Converged 3G Wireless and Wired Networks**. IEEE Comm. Magazine, Vol. 40, n° 8, pp. 44-53, Aug. 2002.
- [MELI00] MELIS, B., ROMANO, G. **UMTS W-CDMA Evaluation of Radio Performance by Means of Link Level Simulations**. IEEE Personal Comm., pp. 42-49, Jun. 2000.
- [MELIS] MELIS, B., *et al.* **Development of Link Simulator and Integration with the Application Layer**. EURESCOM Project P921.
- [MILS00] MILSTEIN, L. **Wideband Code Division Multiple Access**. IEEE JSAC, Vol. 18, No. 8, pp. 1344-1354, Aug. 2000.
- [MONT02] MONTES, H., *et al.* **Deployment of IP Multimedia Streaming Service in Third-Generation Mobile Networks**. IEEE Wireless Comm., pp. 84-92, Oct. 2002.
- [MORA00] MORAWEK, R., ÖCZELIK, H. **UMTS - Basic Network Architecture**. Jan. 2000. On-line na Internet no endereço:
<http://www.morawek.at/Arbeiten/Umts/Umts.html>.
- [MPRG02] The Mobile and Portable Research Group. **WCDMASim. The WCDMA Simulator User's Manual**. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia. On-line na Internet no endereço:
<http://www.mprg.org/research/wcdma/wcdmasim.php>.
- [NIEL01] NIELSEN, J., *et al.* **VoIPoW Robust Header Compression Field Trial Results**. IEEE Vehicular Technology Society News, pp. 10-16, Aug. 2001.
- [NOËL01] NOEL, F. **Higher Data Rates in GSM/EDGE With Multicarrier**. Nokia Reseach Center. Apr. 2001.
- [NOVA00] NOVAKOVIC, D. M., DUKIC, M. L. **Evolution of the Power Control Techniques for DS-CDMA Toward 3G Wireless Communication Systems**. IEEE Comm. Surveys, pp. 2-15, Fourth Quarter 2000.
- [OJAN98a] OJANPERÄ, T., PRASAD, R. **An Overview of Third-Generation Wireless Personal Communications: A European Perspective**. IEEE Comm. Magazine, pp. 59-65, Dec. 1998.

-
- [OJAN98b] OJANPERÄ, T., PRASAD, R. **An Overview of Air Interface for IMT-2000/UMTS**. IEEE Comm. Magazine, pp. 82-95, Set. 1998.
- [PRAS00] PRASAD, R., MOHR, W., KONHÄUSER, W. **Third Generation Mobile Communication Systems**. London. Artech House Publishers, 2000.
- [PRAS98] PRASAD, R., OJANPERÄ, T. **An Overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA**. IEEE Comm. Surveys, pp. 2-29, Vol. 1, No. 1, Fourth Quarter 1998.
- [ROSS02a] Ross, A. H. M. **Long Code**. On-line na Internet no endereço: http://www.cdg.org/tech/a_ross/LongCode.asp.
- [ROSS02b] Ross, A. H. M. **The CDMA Revolution**. On-line na Internet no endereço: http://www.cdg.org/tech/a_roos/CDMARevolution.asp.
- [ROSS02c] Ross, A. H. M. **Forward CDMA Channel**. On-line na Internet no endereço: http://www.cdg.org/tech/a_roos/Forward.asp.
- [ROSS02d] Ross, A. H. M. **Introduction to CDMA**. On-line na Internet no endereço: http://www.cdg.org/tech/a_roos/Intro.asp.
- [SARI00] SARIKAYA, B. **Packet Mode in Wireless Networks: Overview of Transition to Third Generation**. IEEE Comm. Magazine, pp. 164-172, Sep. 2000.
- [SAWA00] SAWAHASHI, M., HIGUCHI, K., TANAKA, S. **Enhanced Wireless Access Technologies and Experiments for W-CDMA Communications**. IEEE Personal Comm., pp. 6-16, Dec. 2000.
- [SKLA93] SKLAR, B. **Defining, Designing, and Evaluating Digital Communication Systems**. IEEE Comm. Magazine, pp. 92-101, Nov. 1993.
- [STAL00] STALLINGS, W. **Data and Computer Communications, 6th Edition**. Upper Slade River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- [TANE96] TANENBAUM, A. S. **Computer Networks, 3rd Edition**. Upper Slade River. NJ: Prentice Hall, 1996.
- [TSOU97] TSOULOS, G., BEACH, M., MCGEEHAN, J. **Wireless Personal Communications for the 21st Century: European Technological Advances in Adaptive Antennas**. IEEE Comm. Magazine, pp. 102-109, Sep. 1997.
- [UMTS111] UMTS TS 01.111. **Requirements for the UMTS Terrestrial Radio Access system (UTRA)**. Versão 3.0.1. Nov. 1997.
- [UMTS112] UMTS TS 01.112. **Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS**. Versão 3.2.0. Apr. 1998.
- [UMTS201] UMTS TS 25.201. **Physical Layer – General Description**. Versão 5.2.0. Sep. 2002.

-
- [UMTS211] UMTS TS 25.211. **Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD)**. Versão 5.2.0. Sep. 2002.
- [UMTS212] UMTS TS 25.212. **Multiplexing and Channel Coding (FDD)**. Versão 5.2.0. Sep. 2002.
- [UMTS213] UMTS TS 25.213. **Spreading and Modulation (FDD)**. Versão 5.2.0. Sep. 2002.
- [UMTS214] UMTS TS 25.214. **Physical Layer Procedures (FDD)**. Versão 5.2.0. Sep. 2002.
- [UMTS215] UMTS TS 25.215. **Physical Layer; Measurements (FDD)**. Versão 5.1.0. Sep. 2002.
- [UMTS301] UMTS TS 25.301. **Radio Interface Protocol Architecture**. Versão 5.2.0. Sep. 2002.
- [UMTS302] UMTS TS 25.302. **Services Provided by the Physical Layer**. Versão 5.2.0. Sep. 2002.
- [UMTS321] UMTS TS 25.321. **Medium Access Control (MAC) Protocol Specification**. Versão 5.2.0. Sep. 2002.
- [UMTS322] UMTS TS 25.322. **Radio Link Control (RLC) Protocol Specification**. Versão 5.2.0. Sep. 2002.
- [UMTS324] UMTS TS 25.324. **Broadcast/Multicast Control (BMC)**. Versão 5.1.0. Jun. 2002.
- [UMTS331] UMTS TS 25.331. **Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification**. Versão 5.2.0. Oct. 2002.
- [UMTSWR] UMTS Word. **UMTS Base Stations and Phones**. On-line na Internet no endereço: <http://www.umtsworld.com/default.htm>.
- [WEIS02] WEISMAN, C. J. **The Essential Guide to RF and Wireless**. 2nd Edition. Upper Slade River. NJ: Prentice Hall, 2002.
- [ZOU] ZOU, J., PICHNA, R., WANG, Q., BHARGAVA, K. **Efficient Methods for High Rate Transmission in Mobile and Personal Communications**. University of Victoria, B.C., Canada.

7.2 Bibliografia

- [3GPP] 3GPP, 3rd Generation Partnership Project: **Technical Specification Group Radio Access Network**. 3GPP TS 25 series, 2000. On-line na Internet no endereço: <http://www.3gpp.org>.
- [AGRA00] AGRAWAL, P., FAMOLARI, D. **Mobile Computing in Next Generation Wireless Networks**. Telcordia Technologies, 2000.
- [CAMP] CAMPBELL, A. T., GOMEZ, J., VALKÓ, A. G. **An Overview of Cellular IP**. Columbia University, New York.
- [CDMA98] **W-CDMA and CDMA2000 Technology Standards for 3rd Generation Wireless Systems: Current Issues and Analysis**. 1998.
- [CERCAS] CERCAS, Francisco. **Simulation Tools**. Technical University of Lisbon – IST, Lisboa, Portugal.
- [FITZ98] FITZEK, F., RATHKE, B., SCHLÄGER, M., WOLISZ, A. **Quality of Service Support for Real-Time Multimedia Application over Wireless Links Using the Simultaneous MAC-Packet Transmission (SMTP) in CDMA Environment**. Workshop on Mobile Comm., Berlin, Oct. 1998.
- [FLOY95] FLOYD, S., JACOBSON, V. **Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks**. IEEE/ACM Transactions on Networking, V. 3, No. 4, Aug. 1995.
- [FORM94] FORMAN, G. H., ZAHORJAN, J. **The Challenges of Mobile Computing**. University of Washington, Mar. 1994.
- [FROS94] FROST, V., MELAMED, B. **Traffic Modeling for Telecommunication Network**. IEEE Comm. Magazine, pp. 70-81, Mar. 1994.
- [HLAVAC] HLAVACS, H., KOTSIS, G., STEINKELLNER, C. **Traffic Source Modeling**. Institute of Applied Computer Science and Information Systems, University of Vienna.
- [HOIYDI] EL-HOIYDI, A. **Network Architecture of the UMTS Space Segment**. Centre Suisse d'Électronique et de Microtechnique-CSEM. Switzerland.
- [HUBE00] HUBER, J. F., WEILER, D., BRAND, H. **UMTS, the Mobile Multimedia Vision for IMT-2000: A Focus on Standardization**. IEEE Comm. Magazine, pp. 129-136, Sep. 2000.
- [IECb] IEC. **Cellular Communications**. The International Engineering Consortium. On-line na Internet no endereço: <http://www.iec.org>.
- [JAIN] JAIN, N. **Medium Access Control Protocol for Wireless Networks**. University of Cincinnati.

-
- [JOSH95] JOSHI, A., et al. *A Survey of Mobile Computing Technologies and Applications*. Purdue University, Oct. 1995.
- [KANTER] KANTER, T., et al. *VoIP over Wireless for Mobile Multimedia Applications*. Ericsson Radio Systems, Teleinformatics.
- [KLEMM] KLEMM, A., LINDEMANN, C., LOHMANN, M. *Traffic Modeling and Characterization for UMTS Networks*. Dep. of Computer Science, University of Dortmund.
- [KOST98] KOSTAS, T. J. et al. *Real-Time Voice Over Packet-Switched Networks*. IEEE Network, pp. 18-27, Jan/Feb 1998.
- [LEUNG] LEUNG, K., MASSEY, W. A., WHITT, W. *Traffic Models for Wireless Communication Networks*. AT&T Bell Labs.
- [LIAO] LIAO, W., CHEN, J., CHEN, M. *Adaptative Recovery Techniques for Real-Time Audio Streams*. Taiwan, ROC.
- [LIN99] LIN, C. R., GERLA, M. *Real-Time Support in Multihop Wireless Networks*. *Wireless Networks*, No. 5, pp. 125-135. UCLA, Los Angeles, CA.
- [LIU] LIU, W., et al. *Parallel Simulation Environment for Mobile Wireless Networks*. University of California, LA.
- [MEDO98] MEDONÇA, Flávio D. *Caracterização de Tráfego*. On-line na Internet no endereço <http://www.gta.ufrj.br/~duboc/cartrafego/desctraf.html>, Jul. 1998.
- [MULL95] MULLER, N. J. *Wireless Data Networking*. Norwood, MA. Artech House Publisher, 1995.
- [NAND00] NANDA, S., BALACHANDRAN K., KUMAR, S. *Adaptation Techniques in Wireless Packet Data Services*. IEEE Comm. Magazine, pp. 54-64, Jan. 2000.
- [NESK00] NESKOVIC, A., NESKOVIC, N., PAUNOVIC, G. *Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment*. IEEE Comm. Surveys, pp. 2-12, Third Quarter 2002.
- [PARK] PARK, J. *Wireless Internet Access for Mobile Subscribers Based on the GPRS/UMTS Network*. IEEE Comm. Magazine, pp. 38-49, Apr. 2002.
- [PERKINS] PERKINS, C. E., BHAGWAT, P. *A Mobile Networking Based on Internet Protocol*. T. J. Watson Research Center. Hawthorne, NY.
- [SALK99] SALKINTZIS, A. K. *A Survey of Mobile Data Networks*. IEEE Comm. Surveys, V. 2, No. 3, pp. 2-17, 1999. On-line na Internet no endereço: <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>.
- [SAYE02] EL-SAYED, M., JAFFE, J. *A View of Telecommunications Network Evolution*. IEEE Comm. Magazine, pp. 74-81, Dec. 2002.

-
- [SCHU96] SCHULZRINNE, H., CASNER, S. L., FREDERICK, R., JACOBSON, V. **RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications**. RFC 1889, IETF, Feb. 1996.
- [SVANBRO] SVANBRO, K., HANNU, H., JONSSON, L., DEGERMARK, M. **Wireless Real-Time IP Services Enabled by Header Compression**. Lulea University of Technology. Lulea, Sweden.
- [SYED01] SYED, H., *et al.* **General Requirements for a Context Transfer Framework**. draft-ietf-seamoby-ct-reqs-00.txt, IETF, Mar, 2001. Work in progress.
- [SYED01b] SYED, H., KENWARD, G., Nortel Networks. **Context Transfer Framework**. draft-hamid-seamoby-ct-fwk-00.txt, IETF, Jun. 2001. Work in progress.
- [UMTS100] UMTS TS 22.100. **UMTS Phase 1**. Versão 3.7.0. Oct. 2001.
- [UMTS101] UMTS TS 23.101. **General UMTS Architecture**. Versão 4.0.0. Apr. 2001.
- [UMTS107] UMTS TS 23.107. **Quality of Service (QoS) Concept and Architecture**. Versão 5.6.0. Sep. 2002.
- [UMTS401] UMTS TS 25.401. **UTRAN Overall Description**. Versão 5.4.0. Sep. 2002.
- [UMTS942] UMTS TS 25.942. **RF system scenarios**. Versão 5.1.0. Jun. 2002.
- [WALLBA] WALLBAUM, M., MEGGERS, J. **Voice/Data Integration in Wireless Communications Networks**. Dep. of Computer Science, Germany.
- [WEST01] WESTBERG, L., LINDQVIST, M. **Real-Time Traffic over Cellular Access Networks**. draft-westberg-realtime-cellular-04.txt, IETF, Jun, 2001. Work in progress.
- [WIRT97] WIRTH, P. E., **The Role of Teletraffic Modeling in the New Communications Paradigms**. IEEE Comm. Magazine, pp. 86-92, Aug. 1997.