

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO
DEPARTAMENTO DE COMUNICAÇÕES

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE
SIMULAÇÃO PARA CDMA 2000 SOBRE O
AMBIENTE DE SIMULAÇÃO HYDRAGYRUM**

Autora: Ana Carolina Gondim Inocêncio
Bacharel em Ciência da Computação pela UCG em 2001

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Souza Mendes
PhD em Engenharia Elétrica Syracuse University em 1992

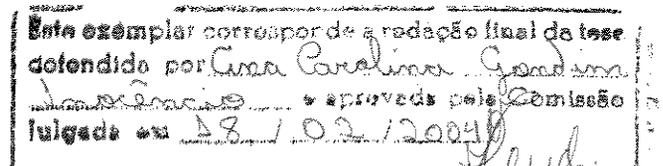
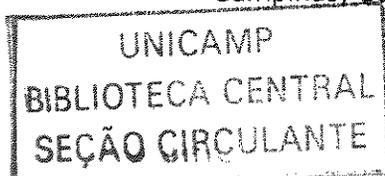
Leud.

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Comunicações, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Telecomunicações e Telemática.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Maurício Ferreira Magalhães
Prof. Dr. Léo Pini Magalhães
Prof. Dr. Antônio Marcos Alberti

Campinas, 18 de fevereiro de 2004.



UNIVERSIDADE BC
CHAMADA T/UNICAMP
In7d
EX
NÚMERO BC/ 64592
CÓDIGO 06.00086.05
VALOR 11,00
DATA 07/07/05
CPD
Zila id. 358166

i

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

In7d Inocêncio, Ana Carolina Gondim.
Desenvolvimento de um modelo de simulação para
CDMA 2000 sobre o ambiente de simulação Hydragyrum /
Ana Carolina Gondim Inocêncio. --Campinas, SP: [s.n.],
2004.

Orientador: Leonardo de Souza Mendes.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de
Computação.

1. Acesso múltiplo por divisão de código. 2. Simulação
(Computadores). 3. Telecomunicações. I. Mendes,
Leonardo de Souza. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III.
Título.

RMS

Titulo em Inglês: Development of a simulation's model for CDMA 2000 to
the environment of simulation Hydragyrum.
Palavras-chave em Inglês: Code division multiple access, Simulation
(Computers) e Telecommunications
Área de concentração: Telecomunicações e Telemática
Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica
Banca examinadora: Maurício Ferreira Magalhães, Léo Pini Magalhães e
Antônio Marcos Alberti.
Data da defesa: 18/02/2004

RESUMO

Este projeto de pesquisa desenvolveu um modelo de simulação sobre o ambiente Hydragyrum, baseado no padrão CDMA 2000. Para isto foi necessário estudar este padrão e os protocolos necessários para se desenvolver um modelo de rede, onde o comportamento deste padrão pudesse ser verificado. Foram criados cenários de simulação que possibilitassem a coleta de resultados, bem como que permitisse comprovar a validade do modelo desenvolvido. Ao longo das implementações realizadas, foi possível verificar como deve ser conduzido o estudo de alguma tecnologia, ou mesmo um padrão, para que deste possam ser abstraídas variáveis relevantes aos resultados que se pretende alcançar. Os resultados obtidos foram apresentados em forma de gráfico e demonstraram como o modelo se comporta. Para isto foram analisadas variações do atraso, throughput, atraso e taxa de perda. O modelo implementado servirá como base para futuros projetos de simulação que objetivem o desenvolvimento de modelos baseados em um ambiente sem fio.

PALAVRAS – CHAVES: simulação, CDMA 2000, Hydragyrum, sistema, modelo.

ABSTRACT

In this research project it was developed a simulation model to the Hydragyrum environment, based on the standard CDMA 2000. For the development, it was necessary to study the standard and the protocols necessary to develop a network model, where the behavior of the standard could be verified. Simulation scenarios have been created to make possible the collection of results to prove the validity of the developed model. Along the implementations that were carried out, it was possible to verify how the study of some technology must be conducted so that one could abstract relevant variables from the results that one intends to obtain. The results were presented in graphical form and they demonstrate what is the model/behaviour. This was achieved through the analysis of delay variations, through, end-to-end delay out packet loss ratio. The implemented model can be bases for future simulations that aim the development of models based on a wireless environment.

KEY-WORDS: simulation, CDMA 2000, Hydragyrum, system, model.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Maria Santíssima pela proteção.

Aos meus pais, Nivaldo e Marisa e ao meu irmão Gabriel, pelo incentivo e apoio em todos os obstáculos e também pela alegria compartilhada em todas as minhas conquistas.

As minhas amigas de Campinas, Letticia, Márcia, Karina, Letícia, Zahra e Gabriela, que estavam determinando a ordem em que seus nomes apareceriam, porém esta ordem não importa, pois todos aqui citados estão em primeiro lugar e sempre estiveram ao meu lado durante o desenvolvimento desta pesquisa, me apoiando nas horas mais difíceis.

Aos meus colegas de curso, em particular, ao José Henrique por nunca deixar que eu desanimasse, auxiliando-me em meus passos.

À Meire, que sempre nos auxiliou, e nos apoiou em nossos projetos, tendo paciência e disponibilidade para conversar sempre que precisávamos.

Ao meu namorado Ekler, pela paciência e apoio em todos os momentos difíceis.

À minha família pela paciência e por estar ao meu lado, mesmo nos meus momentos de mau humor e cansaço.

Ao professor Leonardo Mendes, pela orientação, amizade, apoio e confiança.

Aos professores Maurício Magalhães, Leo Pini e Antônio Alberti por terem aceitado participar desta banca.

Ao professor Adão Faustino da Silva, por ter ajudado na redação final desta dissertação.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

GLOSSÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	01
1.1. Introdução	01
1.2. Objetivo da Pesquisa	01
1.3. Motivação e Justificativa.....	02
1.4. Desenvolvimento do Trabalho	02
1.5. Referências Bibliográficas	03
CAPÍTULO 2 – SIMULAÇÃO	05
2.1. Introdução	05
2.2. Definição	05
2.2.1. Técnicas de Simulação	09
2.3. Evolução dos Simuladores	11
2.4. Vantagens e Desvantagens do uso de simulações	12
2.5. Conclusão	13
2.6. Referências Bibliográficas	14

CAPÍTULO 3 – TECNOLOGIA CDMA	15
3.1. Introdução	15
3.2. Evolução das Comunicações Móveis	15
3.3. Componentes de uma Rede Celular	19
3.4. Tecnologias de Acesso Múltiplo	20
3.4.1. FDMA (Frequency Division Multiple Access)	21
3.4.2. TDMA (Time Division Multiple Access)	21
3.4.3. CDMA (Code Division Multiple Access)	22
3.5. Histórico da Tecnologia CDMA	23
3.6. Padrões CDMA	23
3.7. Aspectos Básicos da Tecnologia CDMA	25
3.7.1. Reuso de Frequência	26
3.7.2. Códigos em CDMA	27
3.7.3. Canais CDMA	28
3.8. Conclusão	29
3.9. Referências Bibliográficas	29
CAPÍTULO 4 – O PADRÃO CDMA 2000	31
4.1. Introdução	31
4.2. Principais Características	31
4.3. Rede CDMA 2000 e seus Componentes	33

4.4. Estrutura de Camadas do Padrão CDMA 2000	35
4.4.1. Camadas Superiores	35
4.4.2. Camada de Enlace	36
4.4.3. Camada Física	37
4.5. Conclusão	39
4.6. Referências Bibliográficas	39
CAPÍTULO 5– ESTRUTURA DO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO	41
5.1. Introdução	41
5.2. Definição	41
5.3. Estrutura do Ambiente de Simulação	43
5.4. O Kernel	44
5.4.1. Estrutura e Funcionamento do Kernel	45
5.4.2. Elementos de Modelamento	49
5.4.3. Elementos de Interconexão	50
5.4.4. Estruturas de Dados	51
5.5. Modelos	52
5.6. Conclusão	52
5.7. Referências Bibliográficas	53
CAPÍTULO 6 – MODELO DE SIMULAÇÃO CDMA 2000	55
6.1. Introdução	55

6.2. Descrição do Modelo Implementado	55
6.3. Definição dos Blocos e Camadas	57
6.3.1. Bloco Server	57
6.3.2. Bloco PDSN	62
6.3.3. Bloco Base Station	63
6.3.4. Bloco Link Wireless	69
6.3.5. Bloco Mobile Station	70
6.4. Conclusão	73
6.5. Referências Bibliográficas	73
CAPÍTULO 7 – SIMULANDO UMA REDE CDMA 2000	75
7.1. Introdução	75
7.2. Descrição do Ambiente de Rede Implementado	75
7.3. Definição dos Cenários de Simulação	76
7.4. Resultados	78
7.4.1. Análise de Perda de Objetos	79
7.4.2. Análise da Variação do Atraso	82
7.4.3. Análise de Throughput	84
7.4.4. Análise do Atraso	85
7.5. Conclusão.....	89
7.6. Referências Bibliográficas	89

CAPÍTULO 8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
8.1. Conclusões	91
8.2. Trabalhos Futuros	92
8.2.1. Implementar o Ambiente GSM	92
8.2.2. Implementar os Estados da Camada MAC	93
8.2.3. Alocação Dinâmica de Estações Móveis	94
8.2.4. Comunicação entre Estações Móveis	94
8.2.5. Desenvolvimentos de um Link aéreo conforme as distribuições exponenciais e Poisson	94
8.2.6. Permitir hand-off	95
8.3. Referências Bibliográficas	95
APÊNDICE A – MIGRAÇÕES	97
A.1. Caminhos de migração	97
A.2. Referências Bibliográficas	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Representação de um sistema.....	06
Figura 2.2. Funcionamento de um modelo.....	07
Figura 2.3. Simulação orientada pelo tempo.....	10
Figura 2.4. Simulação orientada por eventos.....	10
Figura 2.5. Simulação orientada por dados.....	11
Figura 3.1. Componentes de uma rede celular.....	19
Figura 3.2. Funcionamento da tecnologia FDMA.....	21
Figura 3.3. Representação do sistema TDMA.....	22
Figura 3.4. Tecnologia CDMA.....	22
Figura 3.5. Clusters.....	27
Figura 4.1. Componentes de uma rede CDMA 2000.....	33
Figura 4.2. Estrutura de camadas do padrão CDMA 2000.....	35
Figura 5.1. Funcionamento de um simulador orientado a eventos...	42
Figura 5.2. Estrutura do ambiente de simulação.....	43
Figura 5.3. Classes do ambiente de simulação Hydragyrum.....	45
Figura 5.4. Fila de prioridades.....	48
Figura 6.1. Estrutura básica do modelo de simulação CDMA 2000...	56
Figura 6.2. Estrutura em Camadas do Bloco Server.....	57
Figura 6.3. Formato das mensagens UDP.....	60

Figura 6.4. Formato do datagrama IP.....	61
Figura 6.5. Estrutura em Camadas do Bloco PDSN.....	62
Figura 6.6. Estrutura em Camadas do Bloco Base Station.....	63
Figura 6.7. Estados da camada MAC.....	65
Figura 6.8. Freqüência utilizada pelo padrão IS-95 e IS-856.....	67
Figura 6.9. Estrutura do Slot transportado pela camada física.....	67
Figura 6.10. Estrutura do Forward Link.....	68
Figura 6.11. Estrutura em Camadas do Bloco Link Wireless.....	69
Figura 6.12. Estrutura em camadas do bloco Mobile Station.....	70
Figura 6.13. Modelo CDMA 2000 apresentado em forma de camadas e blocos.	72
Figura 7.1. Cenário de simulação.....	75
Figura 7.2. Arquivos fontes utilizados nos cenários de simulação....	78
Figura 7.3. Taxa de Perdas para a simulação com uma estação móvel.	79
Figura 7.4. Taxa de Perdas para a simulação com duas estações móveis.	79
Figura 7.5. Taxa de Perdas para a simulação com quatro estações móveis.	80
Figura 7.6. Comparação de resultados das taxas de perdas.	81
Figura 7.7. Variação do atraso para tamanhos de objeto entre 1000 e 1500 bytes.	82

Figura 7.8. Variação do atraso para tamanhos de objeto entre 2000 e 5000 bytes.	83
Figura 7.9. Variação do atraso para tamanhos de objeto entre 5000 e 10000 bytes.	83
Figura 7.10. Throughput para tamanhos de objeto variando entre 100 e 1500 bytes.	84
Figura 7.11. Throughput para tamanhos de objeto variando entre 1500 e 5000 bytes.	84
Figura 7.12. Throughput para tamanhos de objeto variando entre 5000 e 10000 bytes.	85
Figura 7.13. Atraso para tamanhos de objeto variando entre 100 e 1500 bytes.	86
Figura 7.14. Atraso para tamanhos de objeto variando entre 1000 e 1500 bytes	86
Figura 7.15. Atraso para tamanhos de objeto variando entre 2000 e 5000 bytes.	87
Figura 7.16. Atraso para tamanhos de objeto variando entre 5000 e 10000 bytes.	87
Figura 7.17. Comparação dos atrasos	88
Figura A.1. Caminhos de migração.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Característica dos padrões CDMA.....	25
--	----

GLOSSÁRIO

AAA	Authentication, Authorization and Accounting
AM	Amplitude Modulation
AMPS	Advanced Mobile Phone System
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access ou Acesso Múltiplo por Divisão de Código
CDMA2000	Code Division Multiple Access – 2000
EDGE	Enhanced Data Service for GSM Evolution
EVRC	Enhanced Variable Rate Codecs
FCC	Federal Communications Commission
FCH	Fundamental Channel
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GMT	Greenwich Mean Time (GMT): Global Time -
GRE	Generic Routing Encapsulation
GSM	Global System for Mobile Communications
HA	Home Agent

Handover	permite a uma estação móvel estar conectado, ao mesmo tempo, a mais de uma célula
HLR	Home Location Registry
HSPD	High Speed Packet Data
HTTP	Hyper Text Transport Protocol
Hydragyrum	Ambiente de Simulação produzido no Departamento de comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
LAC	Link Access Control
MAC	Medium Access Control
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
NAK	Not Acknowledgement
PCN	Packet Core Network
PCSs	Personal Communication Services
PDC	Packet Data Cellular
PDSN	Packet Data Serving Node
PPP	Point-to-point Protocol

PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
RLP	Radio Link Protocol
SCH	Supplemental Channel
SMS-SC	Short Message Service – Serving Center
STM	Synchronous Transfer Mode
TCP	Transport Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexed
TDMA	Time Division Multiple Access
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URL	Uniform Resource Locator
VIS	Visual Interactive Simulation
WAP	Wireless Application Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
1G	Primeira Geração de Telefonia Celular
2G	Segunda Geração de Telefonia Celular
3G	Terceira Geração de Telefonia Celular

TIA/EIA IS - 95 Telecommunications Industry Association/Electronic
Industries Association Interim Standard -95

IMT 2000 International Mobile Telecommunicatios for the year
2000

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

A tecnologia de telefonia celular torna-se mais complexa a cada ano que passa. Este fato se explica pela mobilidade dos usuários de comunicações móveis entre países, a diversidade existente nos atuais sistemas e a tentativa de otimizar o espectro para prover velocidade e mais serviços multimodo. Surge, desta forma, a necessidade de uma padronização global de serviços de comunicação móvel.

Sendo assim, o ITU (*International Telecommunication Union*) estudou um sistema de comunicação universal denominado IMT 2000 [1] (*International Mobile Telecommunications for the year 2000*). O IMT 2000 estabelece os objetivos a serem alcançados por sistemas móveis de terceira geração para atender as atuais e futuras necessidades do mercado.

A meta das operadoras para os sistemas móveis de terceira geração é integrar os vários serviços já existentes aumentando a qualidade dos mesmos. Estes serviços abrangem transmissão de dados, tráfego multimídia e de voz.

1.2. Objetivo da Pesquisa

O comportamento de uma rede de comunicação pode ser analisado de várias formas: experimentação em redes reais, utilização de técnicas preditivas, tais como

análise matemática e simulação, etc. Porém, algumas dessas soluções possuem custos elevados enquanto outras possuem implementação limitada. O uso de ferramentas de simulação constitui uma solução flexível e relativamente barata para avaliação de sistemas complexos. Partindo deste pressuposto, esta pesquisa tem como objetivo geral desenvolver um modelo de simulação que permita verificar o comportamento de um sistema de comunicação móvel que integre a tecnologia CDMA 2000 [2] e aplicações UDP/IP sobre o ambiente de simulação Hydragyrum [3].

1.3. Motivação e Justificativa

A implementação de uma ferramenta de simulação para a tecnologia CDMA 2000 tornará possível verificar não só o comportamento de tais sistemas como também analisar os benefícios de sua implantação.

O interesse em aprofundar o conhecimento sobre a tecnologia CDMA e desenvolver uma ferramenta de simulação para a mesma foram as principais justificativas para que este trabalho fosse realizado. Também foi uma motivação importante o desenvolvimento de modelos de telefonia celular para serem adicionados ao elenco de modelos já desenvolvidos para o ambiente de simulação Hydragyrum.

1.4. Desenvolvimento do Trabalho

No desenvolvimento deste modelo de simulação, pretendemos levantar as principais características da tecnologia CDMA 2000, tornando possível analisar o seu comportamento quando integrada a aplicações UDP/IP.

A discussão deste trabalho está dividida em oito capítulos e um apêndice. O capítulo 2 fará uma apresentação sobre simulações, demonstrando suas vantagens e desvantagens. A evolução das comunicações *wireless* e a definição da tecnologia CDMA serão apresentadas no capítulo 3. O capítulo 4 tem como enfoque o padrão CDMA 2000, descrevendo seus aspectos básicos e sua evolução. O ambiente de simulação Hydragyrum será apresentado no capítulo 5. O capítulo 6 descreve o modelo de simulação implementado, mostrando suas características e as camadas que o compõe. O capítulo 7 tem como enfoque primário as simulações realizadas e os resultados obtidos. Finalmente, o capítulo 8 descreve as conclusões obtidas ao longo deste trabalho e as propostas de trabalhos futuros.

O apêndice A apresenta uma análise das possíveis migrações das tecnologias atualmente existentes no ambiente de telefonia móvel, juntamente com suas vantagens e desvantagens, levando em consideração operadoras e usuários.

1.5. Referências Bibliográficas

[1] TIA/EIA/IS-2000-2-A, "*Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems*", 1999.

[2] Ericsson Telecom S.A., Student Text EN/LZT 123 6773 R1A, "*The Migration From TDMA/GSM/CDMA Systems to The 3G*", Brasil, 2001.

[3] NETO, Ernesto Luiz Andrade. *Ambiente de Simulação de Redes a Eventos Discretos*, Campinas. 2001. Tese (Doutorado) – Departamento de Comunicações – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP., 2001

Capítulo 2

SIMULAÇÃO

2.1. Introdução

De acordo com o dicionário Aurélio [1], o significado da palavra simulação é: “Reprodução ou representação do funcionamento de um processo, fenômeno ou sistema relativamente complexo, por meio de outro, gerado para fins científicos de observação, análise e predição, ou para treinamento, diversão, etc. Experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos, especialmente de modelos computacionais, relativos a processos ou objetos concretos que não podem ser submetidos à experimentação direta”.

Este capítulo tem por finalidade discutir o que é simulação, apresentando suas principais vantagens e desvantagens.

2.2. Definição

Para melhor compreender o significado de simulação, é preciso conhecer as definições de sistema e modelo.

✓ **Sistema**

Um conjunto de elementos, materiais ou ideais, entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação. Estes elementos podem ser pessoas, máquinas, meios de transmissão, etc. A representação de um sistema pode ser observada na figura 2.1.



Figura 2.1. Representação de um sistema.

Um sistema é formado por alguns componentes:

- **Entidade:** é um elemento de interesse no sistema;
- **Atributo:** é uma propriedade de uma entidade;
- **Atividade:** representa um período de tempo de duração especificada;
- **Evento:** ocorrência que pode mudar o estado de um sistema;
- **Estado:** coleção de variáveis que podem ser utilizadas para descrever um sistema em um determinado momento.

Um sistema pode ser classificado como *discreto* ou *contínuo* [2]. No sistema contínuo as variáveis têm valores contínuos no tempo. No sistema discreto os valores das variáveis são definidos para determinados instantes de tempo.

✓ **Modelo**

Segundo Hillier [2] um modelo é definido como uma representação de um sistema real na qual somente os aspectos relevantes, para uma determinada análise do sistema, são considerados.

Em geral, um modelo possui variáveis de entrada e saída, assim como demonstrado na figura 2.2:

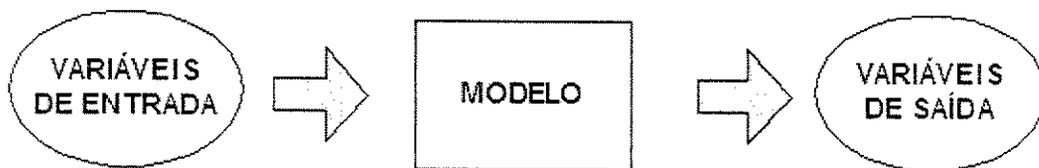


Figura 2.2. Funcionamento de um modelo.

A classificação dos modelos de simulação é apresentada a seguir [2]:

- **Determinísticos ou estocásticos:** quando todas as variáveis do modelo são determinísticas (fixas), ou quando envolvem distribuições de probabilidade;
- **Estáticos ou dinâmicos:** quando o modelo se altera ou não ao longo do tempo;
- **Estável ou instável:** os modelos dinâmicos podem ser: estáveis quando voltam à condição inicial após algum distúrbio; instáveis quando tendem a se afastar da condição inicial conforme sua execução;

- **Discreto ou contínuo:** quando as alterações de estado do modelo são feitas em determinados intervalos do tempo, ou se elas se desenvolvem de maneira contínua.

✓ **Simulação**

Segundo Hillier [3], a simulação é a técnica de fazer experimentos amostrais no modelo de um sistema. Os experimentos são feitos no modelo, ao invés de no próprio sistema real, devido ao fato de ser menos dispendioso e mais conveniente.

Para Chase [4], estas definições são incompletas. Ele trata a simulação considerando duas partes: Primeiro, deve haver um modelo do que se quer simular. Existem várias classificações de modelos, mas os tipos mais comuns são: físicos (modelo de avião), esquemáticos (diagramas de circuitos elétricos), e simbólicos (programa de computador ou modelo matemático que represente um caixa de banco ou uma máquina). Na simulação computacional, o interesse em particular está voltado para os modelos simbólicos, que usamos para representar um sistema real em um computador.

A segunda parte a ser considerada é mover o modelo ao longo do tempo. Mover o modelo baseia-se em modificar os parâmetros de entrada e verificar as alterações obtidas com estas alterações. A simulação é uma série de ações do modelo, com reações do ambiente.

2.2.1. Técnicas de Simulação

As ferramentas atuais de simulação [5] utilizam um diagrama de blocos hierárquicos para criar graficamente o modelo de simulação de um sistema de comunicação. Neste diagrama, cada bloco funcional representa um subsistema do modelo de simulação e é conectado a outros blocos a fim de representar o sistema completo.

Existem várias técnicas utilizadas no desenvolvimento de software de simulação de sistemas de comunicação. Estas técnicas diferem na forma como os blocos do sistema simulado são acionados, podendo ser classificadas em quatro categorias [4]: simulação orientada pelo tempo, simulação orientada por eventos, simulação orientada por dados e simulação mista, que é uma mistura das técnicas anteriores.

- **Simulação orientada pelo tempo:** cada bloco do modelo é chamado uma vez, a cada intervalo de avanço do tempo de simulação, atualizando desta forma seus estados internos para corresponder ao tempo atual, independente da existência ou não de alguma tarefa a ser executada. O funcionamento da simulação orientada pelo tempo é demonstrado pela figura 2.3.

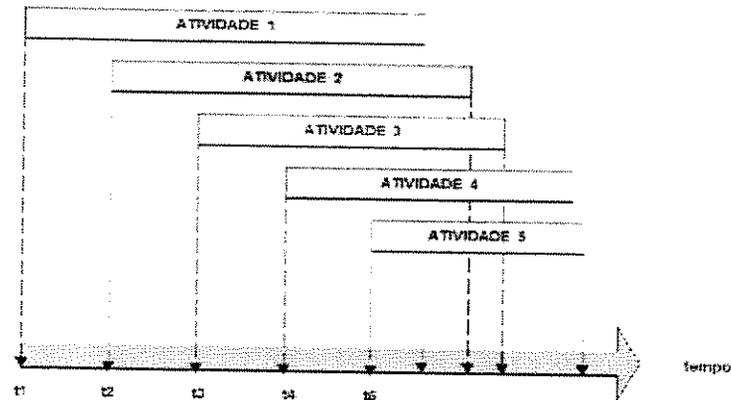


Figura 2.3. Simulação orientada pelo tempo.

- **Simulação orientada por eventos:** os blocos agendam chamadas, que são armazenadas em uma fila com prioridades na forma de eventos. Cada evento possui um tempo de execução, assim como demonstrado pela figura 2.4.

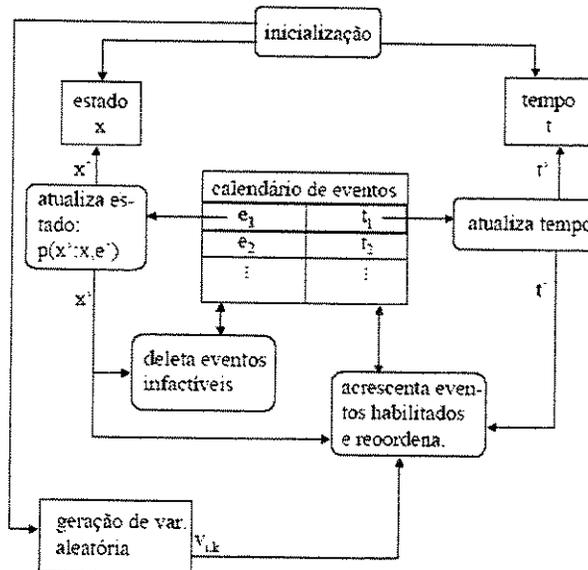


Figura 2.4. Simulação orientada por eventos.

- **Simulação orientada por dados:** um bloco só é iniciado se todos os dados necessários para sua entrada estiverem disponíveis; assim como é demonstrado pela figura 2.5.

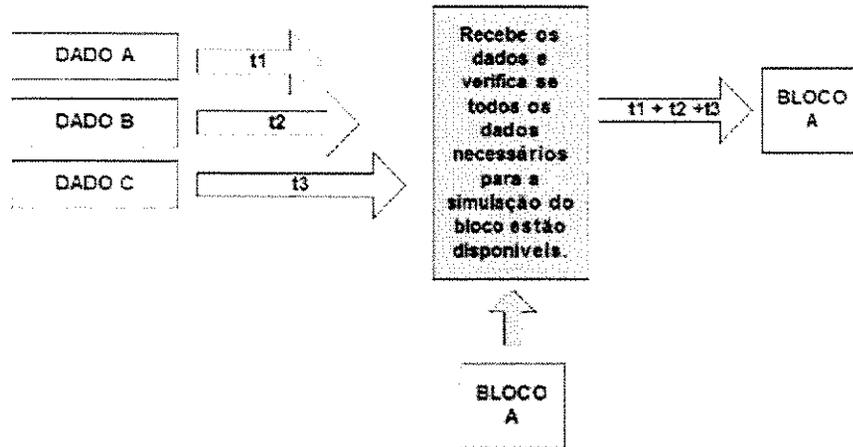


Figura 2.5. Simulação orientada por dados.

2.3. Evolução dos Simuladores

A linguagem de programação FORTRAN foi utilizada nas primeiras aplicações de simulação, porém estas simulações exigiam um grande esforço de modelagem, o que tornava, muitas vezes, inviável a utilização de simulação.

Na década de 60 surgiram as primeiras linguagens específicas [5] para simulação. Estas ofereciam aos usuários um conjunto de facilidades para transformar um modelo formal do sistema em um programa computacional.

Com o passar do tempo estas linguagens passaram a não suprir a necessidade dos usuários, pois os sistemas tornaram-se cada vez mais complexos. Desta forma, foi

necessário criar um ambiente gráfico que proporcionava uma melhor visibilidade para os analistas, tornando a simulação e seu entendimento muito mais fácil.

Mesmo com o avanço citado, a simulação ainda não era uma tarefa fácil, e o treinamento para realizá-la ainda era muito grande. A construção dos modelos e animações era demorada, e os analistas precisavam ter conhecimento do sistema que estavam simulando. Tendo em vista esta dificuldade, foi criada uma nova tecnologia de desenvolvimento de aplicações de simulação, chamada VIS [6] (*Visual Interactive Simulation*). Esta tecnologia usa a modelagem através de ícones, que agrupam comandos das linguagens tradicionais de simulação.

2.4. Vantagens e Desvantagens do Uso de Simulações

Os modelos de simulação são também chamados de modelos de entrada e saída, isto é, eles produzem uma saída de dados conforme as condições de entrada. Eles não geram por si mesmos uma solução ótima como é o caso dos sistemas analíticos, mas podem permitir o uso de técnicas computacionais de otimização.

Os benefícios do uso de simulação são citados abaixo [7]:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação, etc. podem ser explorados sem que provoquem distúrbios nos processos em uso;
- Novos projetos de *layout*, sistemas de transporte, softwares, podem ser testados antes de sua implantação, podendo ser avaliada a necessidade de compra ou modificação;

- Hipóteses sobre como e por que certos fenômenos ocorrem podem ser testadas;
- O fator tempo pode ser expandido ou comprimido, permitindo aumentar ou diminuir a velocidade a fim de se estudar um fenômeno;
- Permite a análise de quais variáveis são significativas para o desempenho do sistema e como estas interagem entre si;
- Gargalos podem ser identificados;
- Um trabalho de simulação pode ser importante para o entendimento de como o sistema realmente funciona;
- Novas situações, sobre as quais haja pouca informação ou conhecimento a respeito, podem ser manipuladas a fim de se prever eventos futuros, isto é, a simulação é uma poderosa ferramenta para responder questões do tipo "o que acontecerá se...".

A simulação apresenta muitas vantagens como foi citado anteriormente, porém também apresenta algumas restrições. Uma importante restrição está nas dificuldades para se representar o ambiente real na íntegra, sendo necessário identificar as variáveis que serão relevantes para o modelo.

2.5. Conclusão

A simulação, como pode ser visto, tem um papel importante quando se trata de sistemas caros e complexos por permitir a simplificação tanto de implementação como de compreensão do sistema real, podendo fornecer os resultados necessários para se realizar análises de implantação de determinados sistemas.

Tomando as vantagens, citadas neste capítulo, pode-se notar a importância da construção de modelos de simulação, pois estes poderão facilitar a análise do desempenho de novas tecnologias, antes mesmo que estas sejam implantadas, diminuindo gastos e até mesmo auxiliando na escolha da tecnologia mais adequada a determinada situação.

No próximo capítulo será descrito o funcionamento da tecnologia CDMA, tornando possível um melhor entendimento de sua evolução e de suas principais características.

2.6. Referências Bibliográficas

- [1] FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo Aurélio O Dicionário da Língua Portuguesa*. 3.ed. ver. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S.A., 1999.
- [2] GAVIRA, Muriel de Oliveira. *Simulação Computacional como uma Ferramenta de Aquisição de Conhecimento*, São Carlos.2003. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP., 2003.
- [3] HILLIER, F. & Liebermann. *Introduction to Operations Research*. Mc Graw Hill,1988.
- [4] CHASE, R.B. & Aquilano,N.J. *Production and Operations Management*. 5 ed. IRWIN, 1989.
- [5] TAVEIRA, Ricardo Ayer. *Capítulo III: A Simulação na Produção*. Disponível em <<http://www.eps.ufsc.br/disserta97/taveira/cap3.htm>>. Acesso em: 09 jan. 2004.
- [6] WAGNER, Paulo Rech. Um novo paradigma para modelagem e simulação Interativa Visual. Disponível em: www.inf.ufrgs.br/cg/publications/pwagner/opr00VBG.pdf . Acesso em 01/dez/ 2003 VISUAL
- [7] SAN, K. Shanmugan. *Simulation and Implementation Tools for Signal Processing and Communication Systems*. IEEE Communications Magazine, Julho 1994.

Capítulo 3 TECNOLOGIA CDMA

3.1. Introdução

A comunicação móvel, também chamada de comunicação *wireless** teve seu início com a radiotelegrafia em 1800. As primeiras aplicações de rádio móvel foram realizadas na navegação [1].

Este capítulo apresenta a evolução das comunicações móveis e as tecnologias que surgiram, ao longo desta evolução, tendo como principal enfoque a tecnologia CDMA (*Code Division Multiple Access*) [2] e seus padrões.

3.2. Evolução das Comunicações Móveis

Antes de definir a tecnologia CDMA se faz necessário uma apresentação da trajetória percorrida pelas comunicações móveis, desde o seu surgimento em 1800 [1].

Em 1906, Reginald Fessenden transmite com sucesso a voz humana através do rádio. Até esta época, as comunicações de rádio consistiam apenas de transmissões de Código Morse.

Em 1915, J. A. Fleming inventou um "*vacuum tube*" [1], válvula, cujo funcionamento baseia-se no fluxo de elétrons no vácuo, que tornou possível a

* Sem fio.

construção de rádios móveis. Esta válvula era basicamente uma cápsula de vidro contendo um filamento aquecido que emitia elétrons. Esses elétrons ejetados eram coletados em uma placa positivamente carregada. O fluxo de elétrons do filamento era controlado por uma pequena tensão elétrica em um eletrodo localizado entre o filamento (ânodo) e a placa (catodo), chamado grade. A válvula podia comutar e amplificar, e como os elétrons podiam viajar velozmente no vácuo, isto a tornava bem mais rápida que o relê (cerca de um milhão de vezes mais rápida). Mas o problema é que as válvulas exigiam fornecimento de energia constante e sua vida útil era bastante limitada. Assim, a válvula era boa em aplicações que empregavam um pequeno número delas, como nos rádios. Onde milhares eram necessárias, como em computadores, a válvula não era adequada.

Em 1921, o departamento de polícia de Detroit utiliza uma frequência de 2MHz em um automóvel. O sistema permitia apenas a comunicação do departamento com o policial, que tinha que recorrer a um telefone normal para responder as mensagens recebidas pelo rádio. Em 1930 sistemas móveis AM (*Amplitude Modulation*) foram introduzidos nos Estados Unidos. Em 1935 Edwin Armstrong inventou a modulação de frequência, o que providenciou uma melhor qualidade de áudio. Em 1940, a FCC (Comissão de Comunicação Federal dos Estados Unidos) reconhece o serviço de comunicação móvel.

Sendo assim, as redes de comunicação móvel existem desde 1940, com o reconhecimento da FCC, porém a sua primeira implantação foi realizada somente em 1970 nos Estados Unidos, marcando desta forma o início da chamada primeira geração de redes *wireless*.

Na primeira geração de telefonia celular (1G), também conhecida por analógica, a transmissão e a propagação de sinais eram realizadas através de ondas eletromagnéticas, utilizando um canal para cada conversação. Dentre as

características encontradas nestes sistemas podemos citar a baixa capacidade espectral, a relativa vulnerabilidade às interferências e a facilidade de interceptação (escuta) das conversações [2]. A primeira geração engloba os sistemas AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) e FDMA (*Frequency Division Multiple Access*).

A segunda geração de telefonia celular (2G) surgiu no início dos anos 90 com os padrões digitais TDMA (*Time Division Multiple Access*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) e GSM (*Global System for Mobile Communications*). Estas tecnologias utilizam técnicas de compartilhamento de canais, apesar de manterem conceitualmente o princípio de comutação por circuitos, ou seja, há um circuito dedicado e reservado durante uma chamada, havendo ou não conversação. Apesar da grande evolução, em relação ao sistema analógico, a transmissão de dados ainda está limitada entre 9,6 e 14,4 Kbps.

Os especialistas planejavam a introdução de uma geração, chamada 3G, que traria a convergência entre transmissão de voz, vídeo e dados. Entretanto, uma geração intermediária entre a 2G e a 3G foi introduzida e denominada 2,5G. Esse termo se refere aos sistemas celulares com serviços e taxas adicionais àquelas oferecidas pelos sistemas 2G, porém ainda não caracterizados como 3G. Os PCSs (*Personal Communication Services*) se enquadram nessa categoria, sendo esses serviços oferecidos, principalmente, através de versões melhoradas dos sistemas celulares (2G) operando nas bandas destinadas aos serviços PCSs.

Antes de definir a terceira geração é importante fazer referência aos serviços de comunicação móvel via satélite. Estes não apresentam claramente uma subdivisão em gerações. O que pode ser observado, contudo, é que a operação comercial da maior parte desses sistemas coincidiu e coincide com a segunda geração dos sistemas celulares.

A terceira geração *wireless* (3G) engloba os sistemas CDMA 2000 (*Code Division Multiple Access - 2000*), UMTS (*Univeral Mobile Telecommunications System*), WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) e EDGE (*Enhanced Data Service for GSM Evolution*), sistemas estes que fazem parte da família IMT 2000 (*International Mobile Telecommunications - 2000*). Ao utilizar tecnologias de terceira geração tem-se a possibilidade de trafegar voz, dados e vídeo, incluindo vídeo sob demanda, pois estes combinam acesso móvel de alta velocidade com serviços baseados em IP (*Internet Protocol*).

Segundo o ITU, podemos definir os sistemas 3G, como sendo os sistemas idealizados e projetados para prover acesso, através de interface aérea, a uma ampla gama de serviços de telecomunicações que são suportados pelas redes fixas, tais como PSTN (*Public Switched Telephone Network*) e ISDN (*Integrated Services Digital Network*).

As principais características dos sistemas de terceira geração IMT 2000, são [2]:

- Alto grau de padronização no projeto de equipamentos, ao nível da indústria internacional.
- Compatibilidade entre os serviços oferecidos pelas redes fixas e aqueles definidos dentro das normas do IMT 2000.
- Adoção de terminais de usuários leves e compactos, com capacidade de *roaming** mundial;
- Capacidade de aplicações multimídia, e uma variedade de serviços;
- Utilização de redes comutadas a pacote, em comparação às redes baseadas em *circuit switch*** , hoje tão amplamente utilizadas.

* Termo utilizado para indicar que o assinante celular está utilizando seu aparelho fora de sua área de registro.

- Assimetria de tráfego, com maior volume de informações/pacotes sendo transmitidas no *downlink****, uma vez que o acesso à Internet é um dos pilares fundamentais dos sistemas de terceira geração.

A quarta geração promete ser a próxima “explosão”, depois da revolução da Internet no final dos anos 90. Com esta tecnologia um único terminal integrado com um número pessoal poderá se acessado livremente através de uma interface aérea sem fio, e as transmissões de rádio moduladas serão plenamente definidas, reconfiguradas e programadas através de *software*. Aplicações IP poderão ser habilitadas para transmissão com garantia de QoS.

3.3. Componentes de uma Rede Celular

Os principais componentes de uma rede celular são apresentados na figura 3.1.

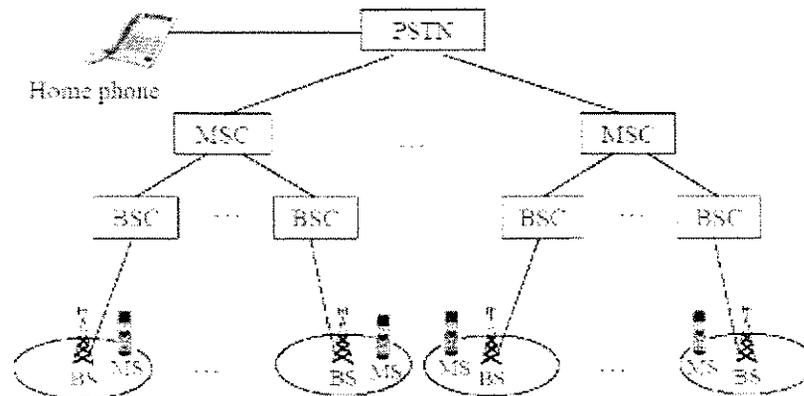


Figura 3.1. Componentes de uma rede celular.

** Comutação de circuito.

*** Tráfego que sai da célula em direção ao usuário.

Estes componentes podem ser definidos da seguinte forma:

- **PSTN (Public Switched Telephone Network):** Sistema tradicional de comutação telefônica por comutação de circuito;
- **MSC (Mobile Switching Center):** Coordena as chamadas dos usuários. O MSC pode estar conectado a uma rede pública (PSTN, ISDN, etc);
- **BSC (Base Station Controller):** É uma entidade que provê controle e gerenciamento trocando mensagens com o MSC;
- **BS (Base Station):** É a entidade que provê o meio de acesso de rede para que as estações móveis possam acessar os serviços de rede usando rádio;
- **MS (Mobile Station):** Representa as entidades móveis do sistema.

3.4. Tecnologias de Acesso Múltiplo

Acesso múltiplo é um conceito importante nos sistemas de telefonia celular, pois as tecnologias que o implementam suportam vários usuários simultaneamente. Em outras palavras, um determinado número de usuários compartilha um grupo comum de canais de rádio e qualquer usuário pode ter acesso a qualquer canal (o usuário não está sempre designado ao mesmo canal). Um método de acesso múltiplo define como o espectro de rádio é dividido em canais e como estes são alocados para os usuários do sistema. A seguir será apresentada uma definição das tecnologias de acesso múltiplo.

3.4.1. FDMA (*Frequency Division Multiple Access*)

Sendo considerada uma das primeiras técnicas de acesso múltiplo utilizada em sistemas de comunicação móvel, FDMA realiza alocação fixa do canal através da divisão da banda de freqüências em sub-bandas menores.

Em sistemas celulares, é alocado para cada célula um determinado número de canais (sub-bandas de freqüência). Os canais são atribuídos aos terminais móveis ativos cobertos pela célula, e ficam dedicados integralmente a cada terminal. O esquema de multiplexação por divisão de freqüência é ilustrado na figura 3.2.

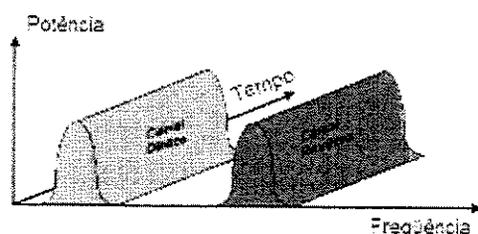


Figura 3.2. Funcionamento da tecnologia FDMA.

Os canais, reverso e direto, são mais bem detalhados na sessão 3.7.3.

3.4.2. TDMA (*Time Division Multiple Access*)

A tecnologia TDMA é uma técnica de múltiplo acesso com alocação fixa do canal. Nestes sistemas, os usuários dividem uma portadora comum para a comunicação com a estação base, de acordo com uma política *time-shared*^{*}.

Para cada usuário transmitindo voz digitalizada ou dados, é alocado um ou mais *slots* de tempo (intervalo de tempo) dentro de um quadro, seja na direção *uplink*

^{*} Compartilhamento do tempo

(usuário para a base – Canal Reverso) como na direção *downlink* (base para usuário – Canal Direto). Seu funcionamento pode ser verificado na figura 3.3.

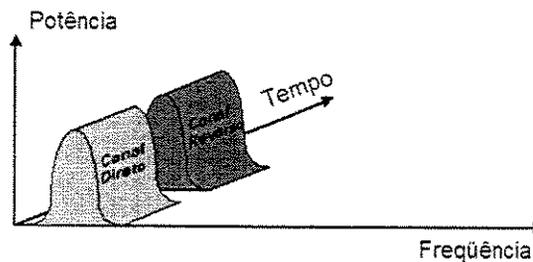


Figura 3.3. Representação do sistema TDMA.

3.4.3. CDMA (*Code Division Multiple Access*)

Em sistemas CDMA os usuários transmitem utilizando toda a banda de frequências simultaneamente. Sistemas de Comunicação que obedecem este conceito são chamados de *Spread Spectrum Systems**. Nesta técnica de transmissão, o espectro de frequência do sinal de informação é “espalhado” (*spread*) através de códigos não correlacionados com o sinal. A figura 3.4 demonstra o funcionamento da tecnologia CDMA. Em sessões posteriores será apresentada uma melhor definição do funcionamento desta tecnologia de transmissão.

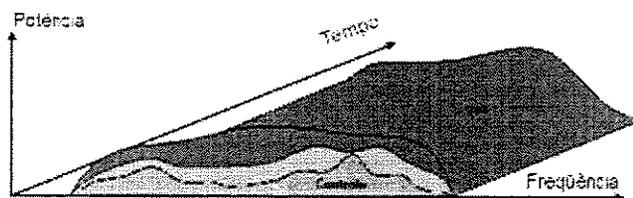


Figura 3.4. Tecnologia CDMA.

* Sistemas de Espalhamento Espectral

3.5. Histórico da Tecnologia CDMA

O uso de CDMA para aplicações civis de telefonia móvel celular é relativamente novo, porém isso foi proposto teoricamente no final da década de 40. Entretanto a aplicação prática no mercado civil em sistemas móveis celulares só foi acontecer em 1989, quando os militares liberaram a tecnologia CDMA para aplicações comerciais.

A tecnologia de espalhamento espectral, que é a base da tecnologia CDMA, era usada nas aplicações militares com várias finalidades, como por exemplo, vencer os efeitos de forte interferência internacional e esconder o sinal transmitido de espiões, além de ser utilizada para cálculos de posição e velocidade.

Nas aplicações comerciais, a tecnologia de espalhamento espectral foi definida como CDMA e a primeira empresa a ver as possibilidades dessa tecnologia para a telefonia celular foi a QUALCOMM, que em 1990 propôs o primeiro sistema celular baseado em espalhamento espectral. Com isso, a empresa QUALCOMM é considerada "dona" do CDMA comercial.

3.6. Padrões CDMA

O primeiro padrão da tecnologia CDMA foi o TIA/EIA IS-95 (*Telecommunications Industry Association/Electronic Industries Association Interim Standard - 95*) [3] que teve sua primeira publicação em 1993. A revisão IS-95A [3] foi publicada em maio de 1995 e foi a base para os sistemas comerciais CDMA 2G.

A revisão IS – 95A descreve a estrutura para canais CDMA *wideband** de 1.25MHz, controle de capacidade, processamento de chamadas, *hand-offs*** , e técnicas de registro para operação dos sistemas.

A revisão IS-95B, que também faz parte da família IS-95 citada anteriormente, combina IS-95 A, ANSI –J –STD-008 e TSB-74 em um único documento [3]. A especificação ANSI –J–STD-008, publicada em 1995, define a compatibilidade dos sistemas PCS CDMA de 1.8 a 2.0 GHz. TSB – 74 descreve a interação entre IS-95 A e os sistemas CDMA PCS que estão conforme ANSI –J –STD-008. O padrão IS – 95B é categorizado como uma tecnologia 2,5G. Este sistema oferece comutação de pacotes de dados a 64 kbps em adição aos serviços de voz.

Como dito anteriormente, IMT 2000 engloba tecnologias de terceira geração, dentre elas CDMA 2000 que possui as tecnologias CDMA 2000 1x e CDMA 2000 1XEV. A tecnologia CDMA 2000 1XEV possui as seguintes divisões:

- CDMA 2000 1X EV – DO: alcança a velocidade de 2.4 Mbps e suporta aplicações como transferência de MP3 e vídeo conferência;
- CDMA 2000 1X EV – DV: provê a integração de voz e entrega rápida de pacotes e serviços multimídia, alcança velocidade de 3.09 Mbps.

A tabela 3.1 demonstra de forma resumida as características dos padrões citados anteriormente:

* Banda Larga.

** Passagem. Em telefonia celular, é a passagem do controle de um assinante de uma estação base para outra, conforme ele se movimenta.

Tabela 3.1. Característica dos padrões CDMA

Padrão	Características
IS-95A	<ul style="list-style-type: none"> • Voz • Taxa de transferência 14.4Kbps
IS-95B	<ul style="list-style-type: none"> • Voz • Taxa de transferência de 115Kbps
CDMA 2000 1X (IS – 2000)	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de transmissão de voz duas vezes maior • Transmissão de um pacote de dados de até 307 kbps em uma única portadora (1.25MHz) • Primeiro sistema de terceira geração
CDMA 2000 1XEV	<ul style="list-style-type: none"> • "High-speed data" Fase 1 • Transmissão de um pacote de dados de até 2.4Mbps em uma única portadora (1.25MHz) • Voz e dados integrados (Fase 2); transmissão de até 3.09Mbps

3.7. Aspectos Básicos da Tecnologia CDMA

CDMA é uma tecnologia que requer menos energia para transmissão, pois usa as frequências disponíveis de forma eficiente. Este sistema também simplifica o planejamento com um padrão de reuso de frequência único e usa um sistema de códigos que permite receber o sinal em situações adversas, e impedindo a interferência e o rastreamento da transmissão [4].

Com a tecnologia CDMA implantada temos a mudança da estação do assinante de um aparelho analógico para um aparelho digital. Múltiplos usuários ocupam a mesma banda de frequência. Este compartilhamento de frequência traz para a

tecnologia em questão uma altíssima eficiência espectral. A seguir serão apresentadas as principais características desta tecnologia [5]:

- Melhor capacidade de tráfego telefônico (Erlang);
- Aprimora a qualidade de voz e elimina efeitos audíveis de desvanecimento de sinal por propagação em caminhos múltiplos (*multipath fading*);
- Reduz a incidência de quedas de chamada e falhas de *hand-off*;
- Fornece um mecanismo de transporte confiável para comunicação de dados;
- Reduz o número de locais (*sites*) necessários para suportar qualquer quantidade de tráfego;
- Simplifica a seleção de *sites*;
- Reduz custos de implantação e de operação, pois menos ERBs (Estações Rádio Base) são necessárias;
- Reduz a potência média transmitida;
- Reduz a interferência de outros dispositivos eletrônicos.

3.7.1. Reuso de Freqüência

Apesar de haver vários canais disponíveis, se cada freqüência for designada para somente uma célula, a capacidade total do sistema será igual ao número total de canais, ajustados para a probabilidade de bloqueio de Erlang, ou seja, somente alguns milhares de assinantes por sistema. Através da reutilização de freqüência em células múltiplas, o sistema pode crescer sem limites geográficos.

Sete conjuntos de canais são utilizados, cada conjunto em uma célula. Esta unidade de sete células (*cluster*), demonstrado pela figura 3.5, é então replicada sobre toda a área de serviço.

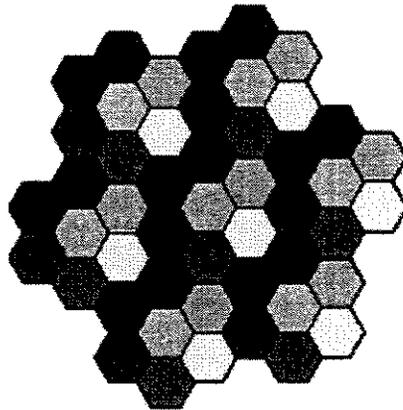


Figura 3.5. Clusters.

Não há células adjacentes usando o mesmo canal. Enquanto sistemas reais nunca parecem com a estilização hexagonal idealizada, a reutilização de frequência com *clusters* de sete células é típica do que é alcançado na prática.

3.7.2. Códigos em CDMA

Os canais de código transmitidos são matematicamente ortogonais. A ortogonalidade é estabelecida pela máscara dos símbolos de código FEC [6] (*Forward Error Correction*) com uma de um conjunto de 64 funções de *Walsh*. Quando a correlação cruzada é muito pequena (idealmente zero), os canais são mutuamente ortogonais. Uma vez que, em cada símbolo de código, somente ocorrem períodos completos de funções de *Walsh*, o efeito da máscara de *Walsh* torna os canais completamente separados no receptor, ao menos na ausência de multi-percurso. A ortogonalidade não significa somente que não há inter-

relacionamento entre os canais, mas que não há interferência entre usuários da mesma célula, também na ausência de multi-percurso.

3.7.3. Canais CDMA

Os canais CDMA são divididos em duas categorias, *Forward Channel* (Canal Direto) e *Reverse Channel* (Canal Reverso), assim como mostrado a seguir:

✓ **Forward Channel**

Responsável pela transmissão do tráfego oriundo da célula em direção ao usuário, sendo formado por:

- **Pilot Channel:** utilizado para obter a sincronização inicial do sistema;
- **Sync Channel:** é através deste canal que as unidades móveis conseguem informações suficientes para poder estabelecer o tempo do sistema, assim como o nível de potência de transmissão que deve ser usado para iniciar a chamada;
- **Paging Channel:** este canal é utilizado para comunicação com o móvel quando não há uma chamada em progresso;
- **Forward Traffic Channel:** responsável pelo transporte de voz, dados e informações de controle da estação base para o móvel.

✓ **Reverse Channel**

Responsável pela transmissão do tráfego oriundo do usuário para a célula, sendo formado por:

- **Access Channel:** quando o usuário não está ativo no *traffic channel*, sua comunicação com a estação rádio base é realizada através deste canal;
- **Reverse Traffic Channel:** responsável pelo transporte de voz, dados e informações de controle do usuário para a estação rádio base.

3.8. Conclusão

A evolução dos sistemas de comunicação móvel aumenta os benefícios e possibilita aplicações inicialmente não imaginadas. Os sistemas estão, a cada dia que passa, mais velozes e suportam mais serviços. Isto se deve ao fato de que, o cliente de comunicação móvel tornou-se mais exigente e o mercado deve acompanhar estas exigências, oferecendo maiores facilidades.

A partir dos próximos capítulos teremos a apresentação do padrão CDMA 2000, escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa e os resultados obtidos neste estudo.

3.9. Referências Bibliográficas

[1] O MICROCHIP: pequena invenção, grande revolução. Disponível em: <http://www.lsi.usp.br/~chip/de_onde_vieram>. Acesso em: 09 jan. 2004.

[2] 3G-Systems. Disponível em: <http://helyrosa.sites.uol.com.br/3g_systems/3g_systems_02.html> Acesso em: 15 nov. 2003.

[3] TIA EIA IS-95-A. *Telecommunications Industry Association/Electronic Industries Association Interim Standard – 95.*

[4] CELULARTECH. *Conhecendo o Sistema CDMA.* Disponível em: <www.digitalplace.com.br/textos/Curso%20de%20CDMA.doc>. Acesso em: 09 jan. 2004.

[5] ROSA, Helio F. WirelessBR. Disponível em: <<http://geocities.yahoo.com.br/wirelessbrasil/>> Acesso em: 09 jan. 2004.

[6] RFC 3452. *Forward Error Correction (FEC) Building Block.*

[7] THE MIGRATION from TDMA/GSM/CDMA Systems to the 3G, Ericsson Telecom S.A., 2001, Ericsson Telecom S.A., Brasil.

Capítulo 4

O PADRÃO CDMA 2000

4.1. Introdução

O padrão CDMA 2000, evolução do cdmaOne / IS-95B, foi desenvolvido para obedecer os requisitos necessários de uma tecnologia de terceira geração. É possível, através deste padrão, realizar o transporte de voz, dados e aplicações multimídia com maior qualidade e velocidade que com os padrões CDMA anteriores.

No decorrer deste capítulo serão mostradas as principais características do padrão CDMA 2000, seus componentes e o seu diferencial com relação aos padrões anteriores, possibilitando uma melhor visualização de como foi implementado o modelo de simulação.

4.2. Principais Características

O CDMA 2000 introduz novas características quando comparado com sistemas móveis de segunda geração. Dentre estas se pode destacar as seguintes:

- A introdução de um avançado controle de potência;
- Modulação QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*);
- Codificação eficiente e suporte a uma grande diversidade de transmissões, que é considerada a principal capacidade em IS-2000;

- Suporte de ambos IS-41 (nativo para IS-95) e rede GSM-MAP. Isto significa que enquanto uma interface de rádio está sendo manipulada de acordo com o padrão CDMA 2000 é possível que o controle de chamada, gerenciamento de mobilidade e outros aspectos de rede sejam manipulados por um protocolo de sinalização GSM [1];
- As chamadas de dados do tipo HSPD (*High Speed Packet Data*) podem propiciar rajadas de dados de até 153,6 kbps, tanto no *Forward Link* quanto no *Reverse Link*, simultaneamente. Dados HSPD permitem um acesso aos usuários cerca de 16 vezes maior que o permitido pelos sistemas 2G. Os serviços de dados HSPD são providos através do tráfego destes dados em dois canais. Um usuário de dados HSPD ativo, possui um canal de sinalização e tráfego, chamado de canal fundamental (FCH – *Fundamental Channel*) trabalhando a uma taxa de 9,6kbps (ou 14,4kbps). No caso de banda adicional, o próprio terminal CDMA 2000 irá negociar a alocação de mais banda para aquela sessão naquele instante. Esta banda adicional solicitada poderá, ou não, ser atribuída. Caso seja atribuída, um canal suplementar (SCH – *Supplemental Channel*) será alocado para aquela sessão;
- Implementação de *handover* que permite a uma estação móvel estar conectada, ao mesmo tempo, a mais de uma célula, podendo receber dados de todas elas, e encontrar o melhor sinal;
- Controle de Admissão é uma característica que permite ao sistema CDMA 2000 priorizar determinadas conexões, trabalhando desta forma com qualidade de serviço.

4.3. Rede CDMA 2000 e seus Componentes

CDMA 2000 introduz um novo conjunto de elementos de rede, chamado PCN (*Packet Core Network*) cuja função é suportar serviços de pacote de forma mais rápida e segura, sendo formado por:

- PDSN (*Packet Data Serving Node*);
- HA (*Home Agent*); e
- AAA (*Authentication, Authorization, and Accounting*).

A figura 4.1 mostra os elementos formadores de uma rede que adote o padrão CDMA 2000.

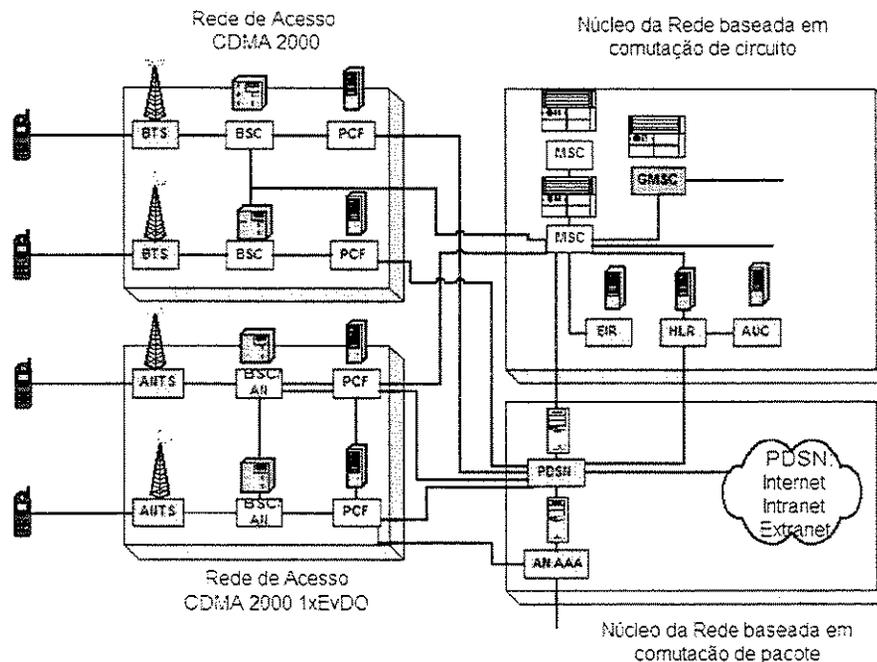


Figura 4.1. Componentes de uma rede CDMA 2000.

A seguir será apresentada a definição de cada um dos componentes mostradas na figura 4.1.

- **BTS (Base Transceiver Station):** O BTS abriga os *transceiver* de rádio que definem uma célula e lidam com os protocolos de interface de rádio com a estação móvel;
- **BSC (Base Station Controller):** É uma entidade que provê controle e gerenciamento para um ou mais BTSs. O BSC troca mensagens com ambos o BTS e o MSC. O BSC gerencia a pesquisa de uma ou mais BTS e gerencia o canal de interface de rádio, como um *handover* (*setup, teardown, frequência, hopping, etc.*);
- **MS (Mobile Station):** São as estações móveis do sistema.
- **MSC (Mobile Switching Center):** O MSC coordena as chamadas dos usuários. O MSC pode estar conectado a uma rede pública (PSTN,ISDN,etc);
- **HLR (Home Location Registry):** Autentica registros *Mobile IP* de estações móveis ;
- **PDSN (Packet Data Serving Node):** Estabelece, mantém e termina uma sessão PPP (*Point-to-Point Protocol*);
- **AAA (Authentication, Authorization, and Accounting):** É responsável pelos principais aspectos de segurança em CDMA 2000. Podendo autorizar usuários, prover QoS e opcionalmente associar endereços IP. Possibilita o suporte a funções de autorização, autenticação e registro;

4.4. Estrutura de Camadas do Padrão CDMA 2000

O padrão CDMA 2000 é dividido em camadas conforme a figura 4.2 apresentada a seguir [1]:

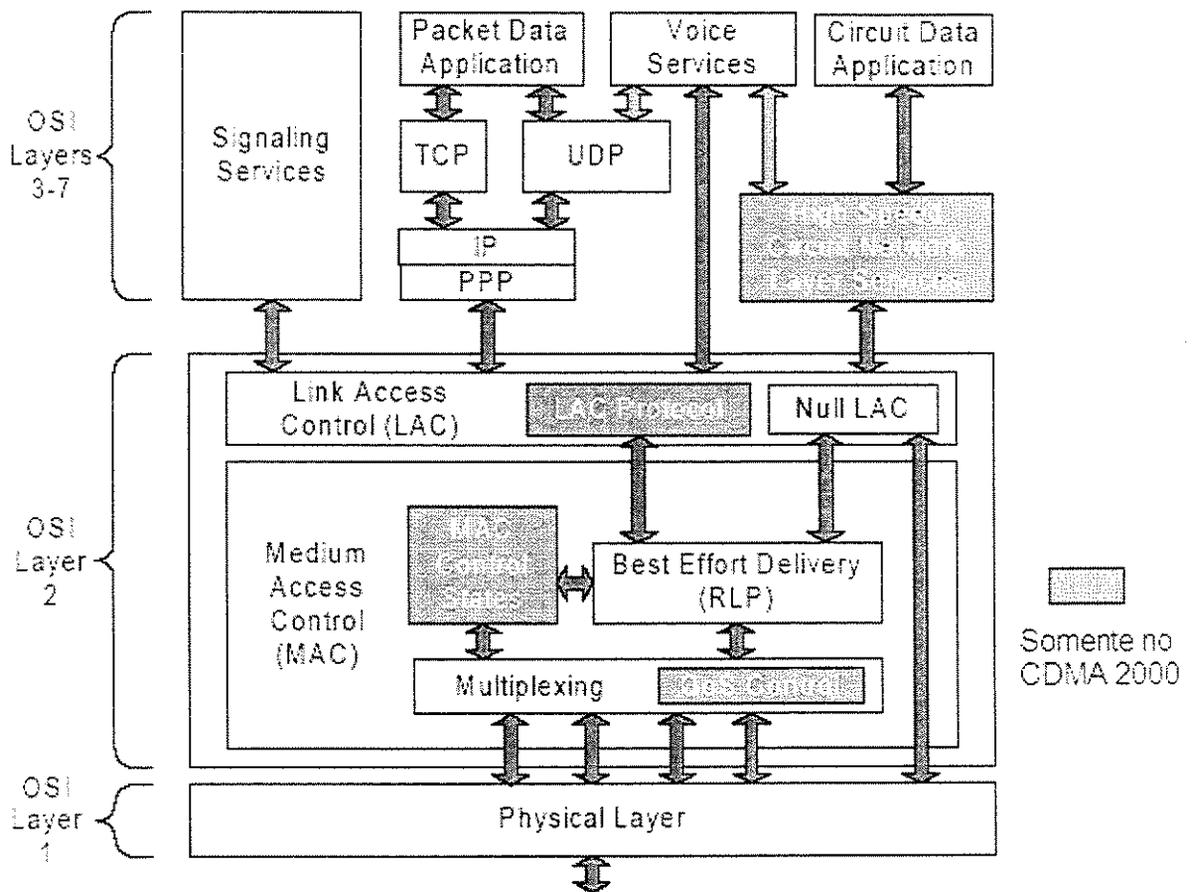


Figura 4.2. Estrutura de camadas do padrão CDMA 2000.

4.4.1. Camadas Superiores

As camadas superiores, representadas na figura 4.2 como **OSI Layers 3-7**, são responsáveis por vários serviços divididos em três categorias básicas [2]:

- **Serviços de voz:** Estes estão relacionados a telefonia (incluindo acesso à PSTN, serviços de voz de estação móvel a estação móvel, e telefonia Internet);
- **Serviços de transporte de dados ao usuário final:** Estes serviços estão relacionados a entrega de dados aos usuários finais, incluindo pacotes de dados (por exemplo, serviço IP), serviços de circuito de dados (por exemplo, serviço de emulação B-ISDN), e *Short Messaging Services* (SMS); e
- **Sinalização:** Serviços que controlam todos os aspectos de operação da estação móvel;

4.4.2. Camada de Enlace

A Camada de Enlace, representada na figura 4.2 como **OSI – Layer 2**, provê suporte aos serviços de transporte de dados.

Esta camada suporta vários níveis de QoS (*Quality of Service*), dependendo da necessidade dos serviços especificados nas camadas superiores.

Outra função desta camada é realizar o mapeamento necessário para transportar os dados oriundos das camadas superiores, conforme características da camada física.

A Camada de Enlace é dividida em duas subcamadas:

- *LAC (Link Access Control – Controle de Acesso ao Enlace):*

Esta subcamada provê transporte de dados sobre a interface aérea entre o par de entidades das camadas superiores. Suporta transmissão confiável conforme varia a necessidade das entidades superiores.

A camada LAC provê, através de NAKs/ACKs, a entrega confiável, realizando a retransmissão no caso de perda de pacotes.

- *MAC (Media Access Control – Controle de Acesso ao Meio):*

Esta subcamada é responsável por funções de controle e gerenciamento de recursos, sendo que as principais são: controle de acesso ao serviço de dados através dos estados de controle MAC, entrega melhor esforço através do protocolo RLP (*Radio Link Protocol*), negociação de QoS priorizando requisições de acesso.

4.4.3. Camada Física

A camada física representada na figura 4.2 como **OSI – Layer 1**, realiza a codificação e a modulação necessárias para que os dados possam trafegar pelos canais lógicos.

Os canais que a compõem são apresentados a seguir:

- **Forward and Reverse Fundamental Channel (F/R-FCH):** O objetivo destes canais é transmitir dados e informações de sinalização durante uma chamada.
- **Forward and Reverse Dedicated Control Channel (F/R-DCCH):** Utilizados para transmitir informações de sinalização quando o *traffic channel* não está sendo utilizado.
- **Forward and Reverse Supplemental Channels (F/R-SCHs):** Possuem a mesma função do *Fundamental Channel*, porém são utilizados apenas quando houver necessidade.
- **Forward and Reverse Common Control Channel (F/R-CCCH):** Estes possuem a mesma função que o *dedicated control channel*, a diferença entre os dois é que quando é utilizada a palavra *common* faz-se referência ao acesso compartilhado, ou seja, ponto multi-ponto, que ocorre quando está acontecendo a comunicação de uma estação base com várias estações móveis. Quando se fala em *dedicated* a referência está sendo feita a comunicação ponto-a-ponto, ou seja, uma estação base e uma estação móvel.
- **Reverse Access Channel (R-ACH):** Este canal é utilizado pela estação móvel para iniciar a comunicação com a estação base.
- **Forward Paging Channel (F-PCH):** Este canal é utilizado pela estação base para se comunicar com a estação móvel no início de uma transmissão.

4.5. Conclusão

O padrão CDMA 2000, como verificado neste capítulo, trouxe consigo características que o tornam mais atraente do que os seus antecessores, pois oferece mais serviços com velocidade e qualidade superiores.

Seu diferencial, com relação aos padrões antigos, pode ser observado em sua estrutura de camadas que apresenta quatro novos itens: *QoS Control*, *MAC Control States*, *LAC Protocol*, *High Speed Services*, fazendo-a mais interessante, principalmente, para aplicações que exijam qualidade de serviço e um melhor gerenciamento dos recursos de rede. A camada MAC a partir do padrão IS-2000 passou a ter novos estados que melhor gerenciam os recursos disponíveis, aumentando, desta forma, a porcentagem de usuários que podem utilizar o sistema simultaneamente.

O próximo capítulo apresentará o ambiente de simulação que foi utilizado para implementar o modelo referente ao padrão CDMA 2000, detalhando suas principais funções.

4.6. Referências Bibliográficas

- [1] International Telecommunication Union Radio Communication Study Groups, *TR-45.5 Inputs to ITU-R TG 8/1 for Draft IMT.RSPC Section 5.5.2*. 1999.
- [2] Telecommunications Industry Association (TIA), *The cdma2000 ITU-R RTT Candidate Submission (0.18)*. 1998.

Capítulo 5

ESTRUTURA DO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

5.1. Introdução

O ambiente utilizado para simular a tecnologia CDMA 2000 chama-se Hydragyrum [1] e foi desenvolvido na Universidade Estadual de Campinas no departamento de comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

Apresentar a estrutura e o funcionamento deste ambiente é o objetivo deste capítulo.

5.2. Definição

O ambiente de simulação Hydragyrum é baseado em eventos, ou seja, o desenvolvedor deve estabelecer como um estado se modifica na ocorrência de um determinado evento [2].

Um ambiente de simulação orientado a eventos é composto por:

- **Estado:** uma lista onde as variáveis do estado são armazenadas;
- **Tempo:** uma variável onde o tempo de simulação é armazenado;
- **Calendário de Eventos:** uma lista onde todos os eventos escalonados são armazenados juntamente com seu instante de ocorrência;

- **Registros de Dados:** variáveis e/ou listas de armazenamento de dados a serem utilizados em estimativas;
- **Rotina de Inicialização:** inicializa todas as estruturas de dados descritas, ao início da simulação;
- **Rotina de Atualização do Tempo:** identifica o próximo evento a ocorrer e avança o tempo de simulação para o tempo de ocorrência daquele evento;

Estes componentes podem ser verificados na figura 5.1 a seguir:

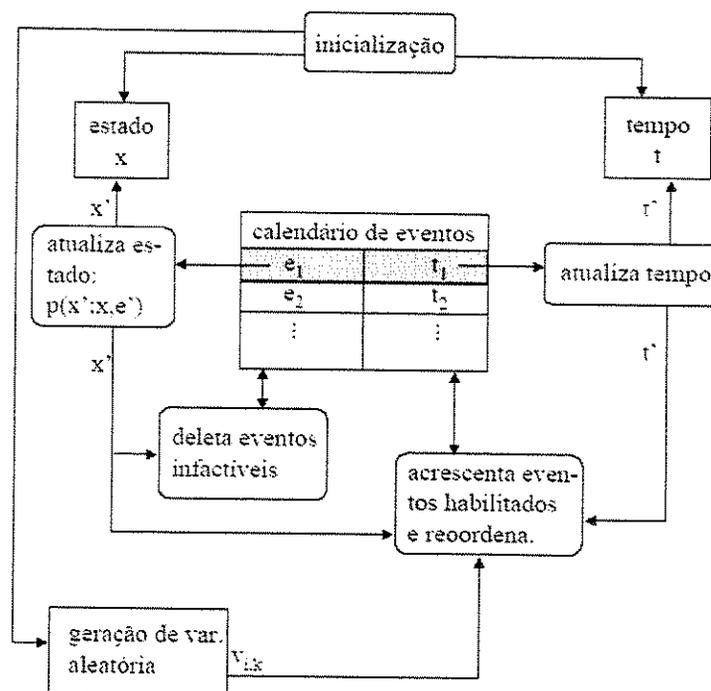


Figura 5.1. Funcionamento de um simulador orientado a eventos.

5.3. Estrutura do Ambiente de Simulação

O Hydragyrum estrutura-se em quatro partes distintas [1], como pode ser observado na figura 5.2.

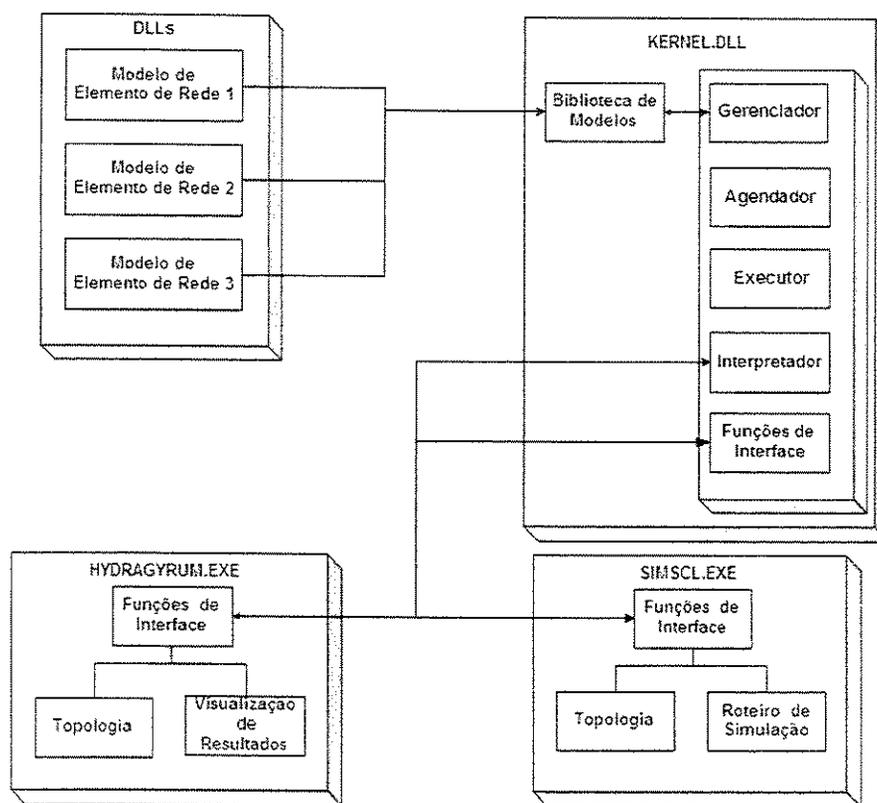


Figura 5.2. Estrutura do ambiente de simulação.

- **Kernel do Programa:** Responsável pelo gerenciamento e execução da simulação (**Kernel.dll**);
- **Modelos dos Elementos de Rede:** Formam os blocos do ambiente de simulação, sendo estes responsáveis pelo comportamento dos modelos (**DLLs**);

- **Interface Gráfica:** Permite a interação amigável entre o usuário e o ambiente de simulação (**Hydragyrum.exe**);
- **Interface de Linha de Comando:** Permite a realização de roteiros de simulação dentro do ambiente (**Simscl.exe**).

Os modelos do Hydragyrum são construídos como DLLs (bibliotecas de ligação dinâmica do sistema operacional Microsoft WindowsTM 32 bits - Windows 95/98/ME/NT/2000).

A Biblioteca de Modelos funciona como uma “ponte” entre os modelos e o *Kernel*, tendo por função carregar e descarregar os modelos necessários para uma determinada simulação.

5.4. O Kernel

O *Kernel* do Hydragyrum abrange todas as funções disponíveis para a simulação de eventos discretos, sendo de sua responsabilidade a carga dos modelos, agendamento e encaminhamento de eventos, interpretação de comandos e encerramento da simulação.

No *Kernel* também estão presentes as estruturas de dados e as classes que podem ser usadas para a criação de novos modelos para o ambiente de simulação.

5.4.1. Estrutura e Funcionamento do *Kernel*

O *Kernel* do Hydragyrum foi organizado em uma arquitetura modular composta de um conjunto de classes que implementam diferentes funções. A figura 5.3 [1] mostra as classes presentes neste ambiente de simulação.

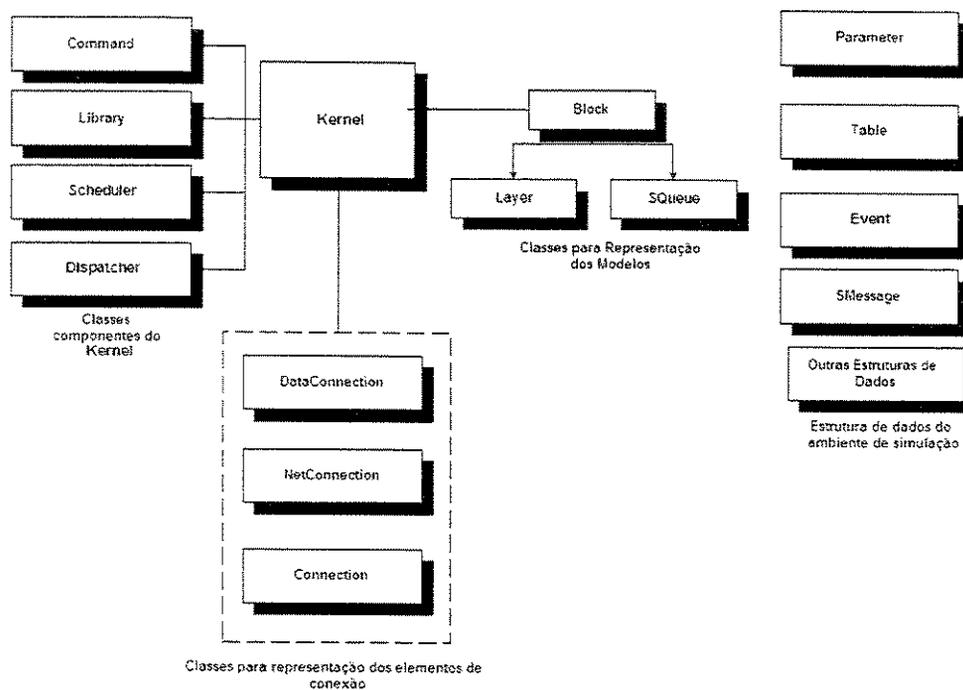


Figura 5.3. Classes do ambiente de simulação Hydragyrum.

Os elementos presentes no *Kernel* deste ambiente podem ser divididos em quatro categorias distintas:

- **Elementos de Gerenciamento e Controle:** Têm como principal função a gerência, o agendamento, a execução, a interpretação e algumas funções

de interface. Os elementos desta categoria são: *Kernel*, *Command*, *Library* e *Dispatcher*;

- **Elementos de Modelamento:** Através destes elementos torna-se possível a construção de novos modelos. Os elementos desta categoria são: *Block*, *Layer* e *SQueue*;
- **Elementos de Interconexão:** Permitem a definição da conectividade entre os modelos. Os elementos desta categoria são: *Connection*, *NetConnection* e *Dataconnection*;
- **Elementos para Representação de Tipos e Estrutura de Dados:** Estes são empregados nas tarefas de gerenciamento, controle, interface e construção de novos modelos. As classes são: *Parameter*, *Table*, *Event*, *Smessage* e outras.

✓ **Gerenciamento (Kernel)**

Um ambiente de simulação necessita de uma entidade central que coordene as diferentes funções necessárias a realização da simulação. Esta entidade é denominada de gerente da simulação. No Hydragyrum esta entidade é o *Kernel*, que tem por função coordenar as atividades das outras classes e responder às solicitações enviadas através das interfaces do ambiente de simulação.

✓ **Biblioteca de Modelos (Library)**

O carregador de bibliotecas dinâmicas permite a carga das DLLs, as quais contêm os modelos construídos para o ambiente de simulação, na memória do computador. A partir deste momento o bloco associado a este modelo pode acessar os parâmetros globais da simulação, mantidos pelo gerenciador.

Quando o bloco associado ao modelo é apagado do ambiente de simulação, a biblioteca de modelos descarrega o modelo da memória.

✓ ***Interpretador (Command)***

O ambiente de simulação possui uma linguagem de simulação denominada SCL (*Simulator Command Language*). Esta linguagem é utilizada como a principal interface entre o servidor (*Kernel*) e seus clientes (as interfaces).

O interpretador do *Kernel* é responsável pela verificação de sintaxe, tratamento de erros e pela chamada das rotinas associadas aos comandos.

✓ ***Funções de Interface***

As funções de interface são funções construídas para facilitar o acesso das interfaces aos dados e funções do *Kernel*, sem necessidade de utilizar o interpretador de comandos. Estas funções foram implementadas para utilização dentro da interface gráfica, onde restrições de desempenho, introduzidas pelo processamento de seqüências de comandos e trocas de dados em modo caractere, poderiam afetar o desempenho da mesma.

✓ ***Agendador (Scheduler)***

O agendador implementa uma fila de prioridades para os eventos a serem executados durante a simulação. Os eventos na fila de prioridades estão ordenados em ordem crescente de tempo de simulação, sendo que o evento que é mantido no topo da pilha é aquele que possui o menor tempo de

simulação agendado. A forma de ordenação utilizada pode ser observada na figura 5.4.

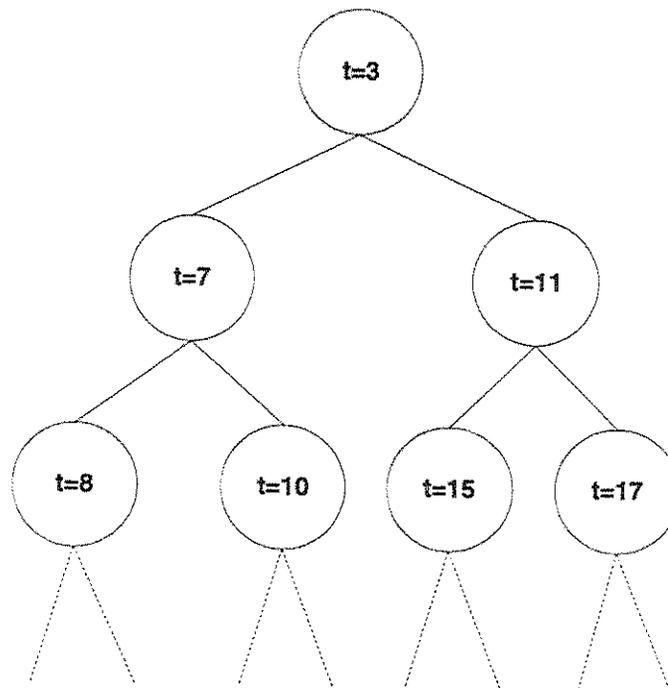


Figura 5.4. Fila de prioridades.

✓ **Executor (Dispatcher + Kernel)**

Os eventos dentro do ambiente de simulação são executados através da operação em conjunto do encaminhador (*Dispatcher*) e do gerenciador (*Kernel*). Durante a simulação o gerenciador retira do topo da fila de prioridades (*Scheduler*) o evento que possui o menor tempo de execução agendado. Este evento é, então, repassado ao encaminhador, que realiza a função de entregar o evento ao modelo de destino. No momento que o evento chega ele é executado e este modelo passa a deter o controle da

simulação. Quando a execução termina o controle da simulação retorna ao gerenciador, que inicia novamente o ciclo de execução.

5.4.2. Elementos de Modelamento

Os elementos do *Kernel* que permitem a adição de novos modelos ao ambiente de simulação são as classes *Block*, *Layer* e *Squeue* mostradas na figura 5.3.

Novos modelos são derivados da classe base *Block*, sendo esta responsável pela interface entre o *Kernel* e as outras classes contidas dentro desta (*Layer* e *Squeue*).

As principais funções das classes *Block*, *Layer* e *Squeue* são:

- manipulação de estruturas de dados;
- criação, envio e processamento de eventos;
- envio de mensagens entre modelos;
- padronização para arquivos de entrada e saída na interface gráfica;
- manipulação de parâmetros do modelo.

Cada classe derivada da classe *Block*, a qual se agregam novas camadas (classes derivadas da classe *Layer*) e sistemas de filas (classes derivadas da classe *Squeue*), constitui uma DLL de modelo.

5.4.3. Elementos de Interconexão

Estes elementos representam a interconexão entre os modelos do ambiente de simulação. Na estrutura do *Kernel*, esta hierarquia é representada pelos objetos das classes *Connection*, *NetConnection* e *DataConnection*.

A classe *Connection* pode representar conexões físicas, de enlaces ou lógicas entre os blocos dos modelos da simulação. Um objeto da classe *Connection* é bidirecional. Logo conectar um bloco/camada A/X com outro bloco/camada B/Y, é equivalente a conectar um bloco/camada B/Y com um bloco/camada A/X. *Connection* é a classe sobre a qual todas as outras classes de conexão são construídas.

A classe *NetConnection* representa um caminho unidirecional a ser percorrido na rede, composto pela associação de uma seqüência de objetos da classe *Connection*. No estabelecimento de um caminho pela rede de conexões na topologia a ser simulada (criação de um objeto da classe *NetConnection*), os objetos da classe *Connection* são ordenados e verificados automaticamente pelo *Kernel*. A partir da especificação da fonte e do destino do caminho de rede, e baseando-se na informação de quais blocos e camadas estão conectados pelos objetos da classe *Connection*, o *Kernel* pode estabelecer, de forma automática, um caminho através da rede interconectando dois modelos de blocos.

A classe *DataConnection* pode representar as conexões de dados entre os aplicativos que geram a informação a ser transmitida na rede. O objeto da classe *DataConnection* é unidirecional, sendo composto pela associação de um ou mais objetos de conexões de rede *NetConnection*, que estão disponíveis entre a fonte e o destino especificados.

5.4.4. Estruturas de Dados

As estruturas de dados são utilizadas para armazenar as informações usadas pelo *Kernel* e pelos modelos durante a simulação.

A classe *Table* permite que os tipos de dados (*long*, *int*, *double*, *Sstring* e *unsigned int*) sejam indexados por duas chaves de procura na tabela, sendo útil para armazenar tabelas de roteamento e associações de sistemas de fila e camadas dentro dos modelos.

A classe *Event* representa os eventos trocados na simulação. Estes eventos contêm as informações do tempo em que devem ser processados, para qual elemento da simulação se destinam e uma *string* que identifica o tipo do evento gerado. Os eventos são gerados por funções específicas dentro dos blocos (*Block*), camadas (*Layer*) e sistemas de filas (*Squeue*) dos modelos.

A classe *Smessage* é a classe base para a derivação de novas mensagens a serem transportadas pelos eventos do simulador. Ela possui apenas alguns poucos campos fixos, como o tempo de entrada e de saída em uma fila. Outros dados podem ser adicionados conforme a necessidade de cada conjunto de modelos desenvolvidos.

5.5. Modelos

Os modelos do ambiente de simulação são compostos de objetos derivados das classes base *Block*, *Layer* e *Squeue*.

A classe *Block* é a que define o modelo e como ele agrega os seus componentes, que podem ser objetos derivados das classes base *Layer* ou *Queue*. Esta agregação dos diferentes elementos dentro do bloco do modelo permite uma modularidade no projeto do código do modelo e na apresentação e manipulação dos parâmetros do modelo na interface gráfica.

No ambiente de simulação, as mensagens são derivadas da classe base *SMessage* e transportadas dentro dos eventos usando um campo de ponteiro para a classe *SMessage* presente na estrutura do evento (objeto da classe *Event*).

5.6. Conclusão

O ambiente de simulação Hydragyrum apresenta uma estrutura simplificada e de fácil entendimento. O uso deste ambiente possibilita a construção de modelos diversificados, desde que estes possam ser descritos em forma de eventos a serem executados. No projeto deve-se ter consciência do sistema como um todo, e saber abstrair deste as variáveis necessárias e mais importantes para a construção do modelo, para que os resultados obtidos possam ser satisfatórios.

Após mostrar o funcionamento do ambiente de simulação, o próximo capítulo apresentará como foi construído o modelo de simulação para a tecnologia CDMA2000, apresentando suas principais características e funções.

5.7. Referências Bibliográficas

[1] NETO, Ernesto Luiz Andrade. *Ambiente de Simulação de Redes a Eventos Discretos*, Campinas. 2001. Tese (Doutorado) – Departamento de Comunicações – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP., 2001.

[2] TÉCNICAS de Simulação. *Simulação de Sistemas Dinâmicos*. Disponível em: <<http://www.dca.fee.unicamp.br/~rafael/ia369/sumario.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2004.

Capítulo 6

MODELO DE SIMULAÇÃO CDMA 2000

6.1. Introdução

Como foi definido no capítulo referente à simulação, ao se construir um modelo, é necessário abstrair do sistema real quais serão as principais variáveis a serem consideradas e as funções que este deve possuir para que resultados satisfatórios possam ser alcançados.

A construção do modelo de simulação para o padrão CDMA 2000 teve como primeiro passo a identificação dos resultados que este deveria gerar. Após ter os resultados identificados, o segundo passo foi estudar a tecnologia e os protocolos do CDMA 2000, abstraindo as variáveis e funções necessárias para que o modelo pudesse ser implementado.

A descrição destas funções e variáveis será apresentada logo a seguir, e os resultados alcançados serão mostrados no capítulo 7 desta dissertação.

6.2. Descrição do Modelo Implementado

O ambiente de simulação Hydragyrum possui uma plataforma para construção de modelos baseada em blocos e camadas. Partindo deste pressuposto foi construído um modelo para a tecnologia CDMA 2000 que tem sua estrutura básica conforme a figura 6.1.

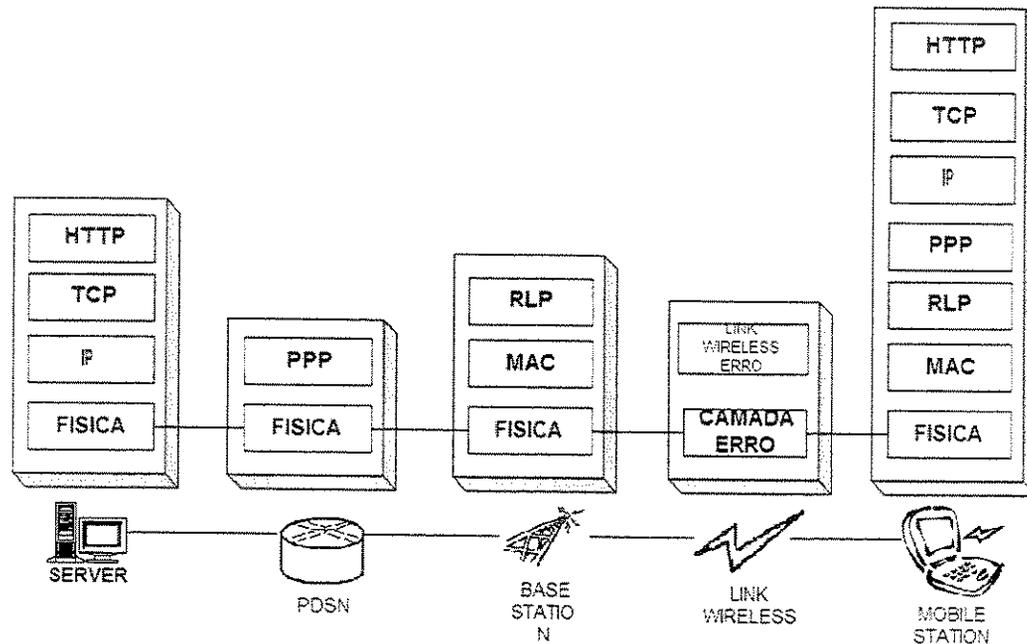


Figura 6.1. Estrutura básica do modelo de simulação CDMA 2000.

O modelo implementado possui cinco blocos distintos:

- **Server:** Este bloco representa a fonte de tráfego do modelo de simulação tendo como função principal prover as mensagens HTTP solicitadas pela estação móvel.
- **Packet Data Serving Node (PDSN):** O objetivo deste bloco é fragmentar os pacotes recebidos em pacotes de tamanhos fixos e estabelecer o *link* ponto-a-ponto entre a *Base Station* e o *Server*;
- **Base Station:** Provê o controle ao meio de acesso de rede para que as estações móveis possam acessar os serviços de rede usando rádio;
- **Link Wireless:** Tem por função emular o link aéreo, inserindo erros conforme determinadas distribuições.

- **Mobile Station:** Representa uma estação móvel, cuja responsabilidade é a solicitação de objetos HTTP.

Para melhor definir os blocos e suas funções, a próxima sessão mostrará cada camada implementada e o seu objetivo dentro do modelo, tomando por base as normas de padronização e o ambiente de simulação utilizado.

6.3. Definição dos Blocos e Camadas

Conforme especificado pela figura 6.1, temos o modelo de CDMA 2000 dividido em cinco blocos com suas respectivas camadas. Esta sessão apresentará cada bloco e as funcionalidades específicas de suas camadas.

6.3.1. Bloco Server

O Bloco Server, como dito anteriormente, é o servidor de objetos HTTP do modelo da estação móvel. Sua estrutura em camadas pode ser visualizada na figura 6.2.

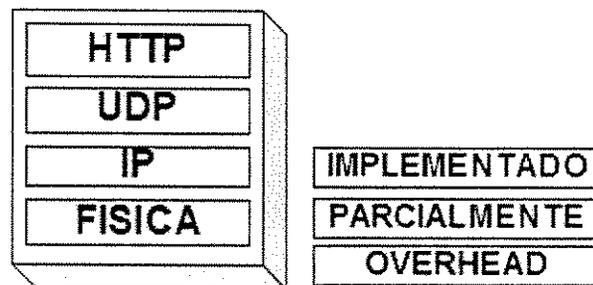


Figura 6.2. Estrutura em camadas do Bloco Server.

Conforme pode ser visto na figura 6.2, tem-se a utilização dos termos: implementado, parcialmente e *overhead* que têm como significado:

- **Implementado:** A camada que apresentar esta descrição possui a implementação de suas principais funções;
- **Parcialmente:** Quando uma camada for apresentada com esta legenda sua implementação não abrange todas as suas funcionalidades, tendo apenas as funções necessárias para os resultados desejados;
- **Overhead:** As camadas apresentadas como *overhead*, acrescentarão atrasos as mensagens.

✓ **Camada HTTP (*Hyper Text Transport Protocol*)**

Esta camada é baseada no protocolo HTTP [1], que está na camada de aplicação da pilha de protocolos TCP/IP [X]. Segundo a RFC 2616, o HTTP define um modelo Cliente/Servidor entre o Browser e o servidor Web na camada de aplicação da Internet baseada em TCP/IP. No caso do servidor, sua responsabilidade é enviar as mensagens contendo os objetos em resposta aos pedidos realizados pelo cliente. Alguns aspectos fundamentais deste protocolo são [1]:

- Os servidores funcionam como repositórios de informação;
- A estruturação da informação baseia-se em "*hyperlinks/ hypermedia*";
- A interface dos *browsers* é intuitiva, generalizada e permite lidar com múltiplos formatos e tipos de recursos;
- Os *browsers* admitem a navegação dinâmica através dos *hyperlinks*.
- Cliente/Servidor:

No modelo implementado, esta camada possui um arquivo fonte com todas as requisições feitas ao site da copa do mundo de 1998 entre 30 de abril e 26 de julho de 1998, período este em que o site recebeu 1.352.804.107 requisições [2]. Levando em consideração que este arquivo poderá ser outro, desde que siga o mesmo formato apresentado pelo arquivo fonte utilizado como exemplo para este trabalho de simulação.

Este arquivo apresenta os seguintes campos:

- **Timestamp:** Contém o tempo de requisição, armazenado em segundos. O *timestamp* foi convertido para GMT (*Greenwich Mean Time*), permitindo sua portabilidade;
- **ClientID:** Contém um identificador único do cliente que realizou a requisição;
- **ObjectID:** Contém um identificador único para a URL (*Uniform Resource Locator*), que foi solicitada;
- **Size:** Contém o número de bytes desta resposta;
- **Method:** Contém o método contido na requisição do cliente (por exemplo, **GET**);
- **Status:** Este campo contém a versão HTTP que está sendo utilizada e a indicação da resposta (exemplo, 200 OK);
- **Type:** O tipo de arquivo requisitado (ex: HTML, IMAGE, etc.);
- **Server:** Indica o servidor que obteve a requisição.

A partir deste arquivo foi possível extrair os tamanhos dos objetos e os tempos em que estes foram enviados, podendo desta forma aproximar a simulação de um resultado próximo da realidade.

✓ **Camada UDP (*User Datagram Protocol*)**

O protocolo UDP [X] provê mecanismos simples para enviar mensagens a processos residentes em outras estações. É possível discenir entre diversas aplicações em um dado *host*, permitindo que vários programas aplicativos executados, em determinado computador, enviem e recebam datagramas isoladamente [3].

O protocolo UDP fornece um serviço de transmissão sem conexão, não-confiável, usando o IP (*Internet Protocol*) para transportar mensagens entre máquinas.

O formato das mensagens utilizadas por este protocolo pode ser visualizado através da figura 6.3.

PORTA DE ORIGEM UDP	PORTA DE DESTINO UDP
COMPRIMENTO DE MENSAGEM UDP	SOMA DE VERIFICAÇÃO UDP
DADOS	
...	

Figura 6.3. Formato das mensagens UDP.

Cada segmento UDP é composto por duas partes: um cabeçalho e uma área de dados.

No Bloco Server esta camada tem por função encapsular as mensagens oriundas da camada HTTP, conforme o formato apresentado pela figura 6.3, e encaminhar os mesmos para a camada IP.

✓ **Camada IP (*Internet Protocol*)**

O protocolo IP tem por função principal ocultar a rede física, criando uma rede virtual [3]. As especificações deste protocolo podem ser encontradas nas RFCs 791,950,919 e 922 com atualizações na RFC 2474.

As características deste protocolo são:

- Serviço de transporte não confiável;
- Serviço de transporte sem garantias de QoS ou de melhor-esforço;
- Não orientado a conexão.

O formato do datagrama IP é apresentado na figura 6.4.

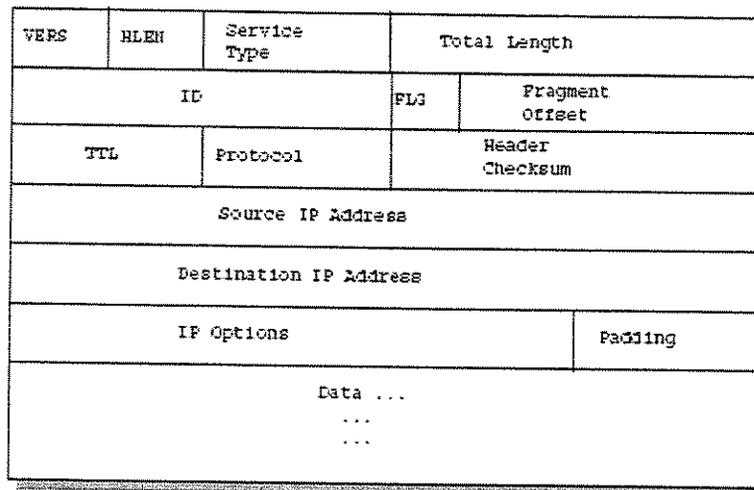


Figura 6.4. Formato do datagrama IP.

No modelo desenvolvido, esta camada tem por função encapsular os dados oriundos da camada UDP, conforme formato apresentado pela figura 6.4, e enviá-los para a camada física.

✓ **Camada FÍSICA**

No sistema real esta camada realiza a codificação necessária para que o datagrama IP seja enviado para o Bloco PDSN. Como pode ser observado na figura 6.2, esta é apenas uma camada de overhead, suas funções não foram realmente implementadas, e tem-se apenas a presença do atraso de codificação. Esta codificação foi implementada, porém não foi acrescentada ao modelo de simulação, pois conforme os resultados previamente descritos para a realização deste trabalho a inclusão desta codificação não influenciaria nos resultados finais, desta forma foram acrescentados apenas o atraso que a codificação representa para o sistema real.

6.3.2. Bloco PDSN

O Bloco PDSN tem sua estrutura conforme a figura 6.5 a seguir:

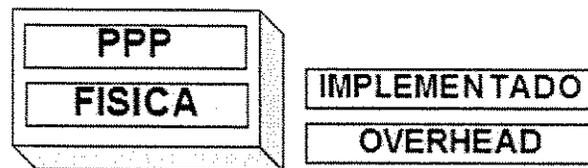


Figura 6.5. Estrutura em Camadas do Bloco PDSN.

✓ Camada PPP

O protocolo desta camada é o PPP (*Point-to-point Protocol*), que é um protocolo de encapsulamento para o transporte de datagramas IP sobre ligações ponto-a-ponto. Este protocolo é formado por três componentes [4]:

- Método de encapsulamento de múltiplos protocolos de camada de rede;
- Um protocolo para iniciar a conexão;
- Protocolos para gerenciar as necessidades específicas de protocolos da camada de rede.

No modelo implementado esta camada tem por função estabelecer a comunicação ponto-a-ponto entre o servidor e a *base station* e encapsular o datagrama ip recebido em pacotes GRE (*Generic Routing Encapsulation*) [5].

✓ **Camada FISICA**

A camada física, assim como no Bloco Server, é responsável pela adaptação (modulação, codificação) dos dados recebidos para que sejam transmitidos no meio físico que está sendo utilizado. Como pode ser verificada na figura 6.5, esta camada também será definida como camada de overhead.

6.3.3. Bloco Base Station

O Bloco Base Station, como já especificado, tem por função permitir que as estações móveis acessem os serviços da rede. Para isto foi montada uma estrutura conforme a figura 6.6 a seguir:

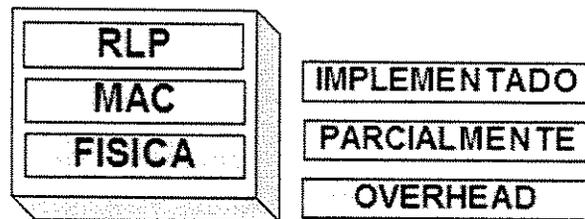


Figura 6.6. Estrutura em camadas do Bloco Base Station.

✓ **Camada RLP**

O protocolo desta camada é denominado RLP (*Radio Link Protocol*), e quando está atuando na transferência de dados passa a ser um protocolo baseado em NAK (*Negative Acknowledgement*) puro [6]. O receptor não envia ACK de quadros recebidos, este somente requisita a retransmissão de quadros não recebidos [7].

A camada RLP deve prover um *buffer* de armazenamento para fazer o resequenciamento de quadros. Estes *buffers* estarão presentes no envio e no recebimento, e estarão hábeis a armazenar não menos do que 128 quadros RLP do tamanho máximo permitido para cada tipo de tráfego RLP.

No modelo implementado, este protocolo tem por função armazenar os pacotes IP recebidos em um novo *buffer* de dados e fragmentar em quadros RLP, além de armazenar uma cópia de cada quadro transmitido em um "*retransmission data buffer*", para o caso de receber requisição para retransmitir um determinado quadro.

✓ **Camada MAC**

A camada MAC (*Medium Access Control*) tem como principais funções [8]:

- Controle de acesso ao meio, através de estados de controle MAC. Estes estados serão explicados a seguir;
- Provê entrega melhor esforço através de RLP;
- Executa negociação de QoS (*Quality of Service*).

Os estados que compõem a camada MAC podem ser visualizados na figura 6.7.

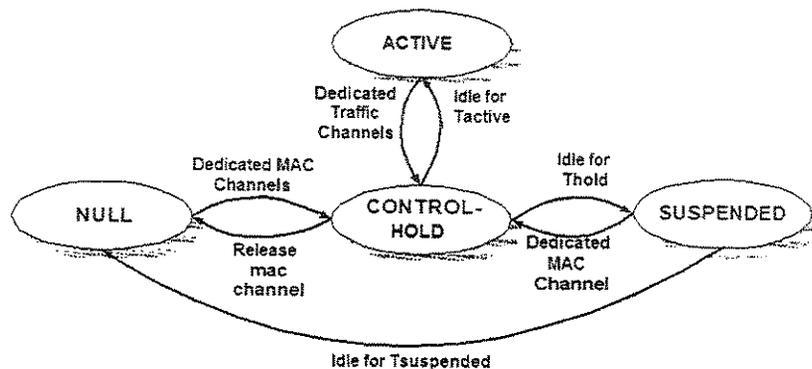


Figura 6.7. Estados da camada MAC.

Estes estados são necessários para melhor aproveitar os recursos que o sistema possui. O número de usuários de sistemas móveis é crescente e a ociosidade dos recursos causa uma diminuição considerável no desempenho do sistema.

A funcionalidade de cada estado é explicada a seguir:

- **Control-Hold:** Ao iniciar a comunicação com a *base station* a estação móvel entra no estado *control-hold* até conseguir um canal de tráfego dedicado;
- **Active:** A partir do momento em que o canal dedicado foi alocado a estação passa para o estado *active*, permanecendo neste estado enquanto estiver utilizando o canal.
- **Suspended:** Após um determinado tempo no estado *Control Hold* e com requisição negada de canal MAC, a estação móvel passa para o estado *Suspended*.
- **Null:** Uma estação móvel passa para o estado NULL quando desaloca o canal MAC, ou quando o tempo no estado *Suspended* esgotou.

A implementação da camada MAC, inicialmente, obedeceu todos os estados contemplados pela norma de padronização. Porém a simulação que está sendo realizada possui uma fonte de dados fixa, como explicado na camada HTTP, ou seja, a implementação destes estados seriam interessantes a partir de um momento que tivéssemos uma fonte de dados onde houvesse tempos onde o sistema ficasse ocioso, onde poderíamos observar a funcionalidade e qualidade obtida com os estados apresentados, levando isto em consideração e a fonte de dados utilizada para este trabalho foi observado que esta implementação seria desnecessária, o que fez com que a camada MAC passasse a ser uma camada de *overhead*.

✓ **Camada FISICA**

A camada física do Bloco *Base Station* passou por duas fases de implementação. Durante a primeira fase implementou-se um modelo do padrão IS-856 que tem por função otimizar os serviços de pacotes de dados de alta velocidade, melhorando o *throughput* do *forward link*.

O padrão IS-856 utiliza a técnica TDM (*Time Division Multiplexed*), que elimina o compartilhamento de frequência entre os usuários ativos produzindo um setor de tempo alocado para cada usuário. Considerando um instante qualquer de faixa de transmissão existirá apenas um mostra como é o funcionamento do IS-856 em comparação com o IS-95 [9].

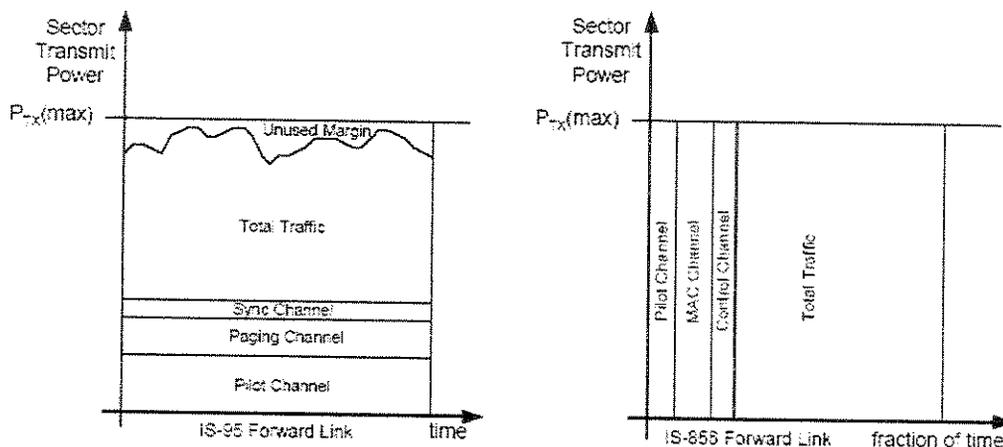


Figura 6.8. Freqüência utilizada pelo padrão IS-95 e IS-856.

Como pode ser observado pela figura 6.8, o padrão IS-856 tem um melhor aproveitamento da freqüência que está sendo disponibilizada, ocasionando desta forma a possibilidade de se ter mais usuários ao mesmo tempo utilizando o sistema [9].

No padrão IS-856 a unidade de transferência é o *Slot*. Conforme mostra a figura 6.9 [10], os quadros recebidos pela base station são segmentados em *slots* e enviados para o *mobile station*, onde ocorrerá a remontagem.

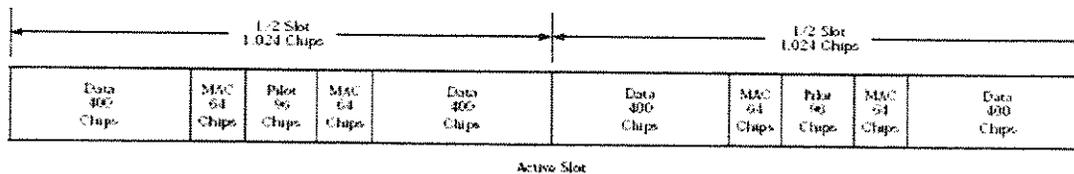


Figura 6.9. Estrutura do slot transportado pela camada física.

A partir da implantação do padrão IS-856 o *forward link* passa a ter sua estrutura conforme mostra a figura 6.10 [9].

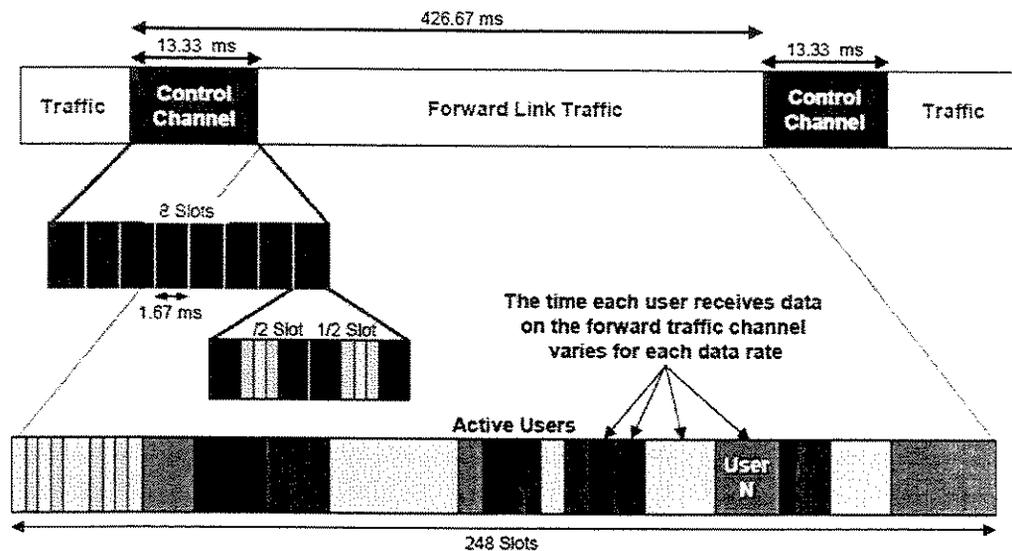


Figura 6.10. Estrutura do *forward link*.

Esta estrutura do *forward link* maximiza, principalmente, o *throughput* de um dado setor, pois ao invés de estar compartilhando a potência de transmissão naquele instante determinado o usuário ocupará toda a frequência. A determinação do tempo do slot depende das condições do canal. Este padrão permite 60 usuários simultaneamente no estado conectado, que estejam mandando e recebendo respostas ativamente.

Após ter implementado este padrão no modelo de simulação, foi notado que um comportamento inadequado ocorria quando havia sua integração com o protocolo TCP, que posteriormente foi substituído pelo protocolo UDP. Este fato ocorreu devido ao grande número de retransmissões TCP, o que tornava a simulação lenta e distante da realidade. Assim, na segunda fase do desenvolvimento, passou-se a modelar apenas o modo de transmissão original da tecnologia CDMA 2000, onde

temos o tráfego de quadros RLP que são segmentados conforme o estado do *link* aéreo e tem a duração de 20 ms.

6.3.4. Bloco Link Wireless

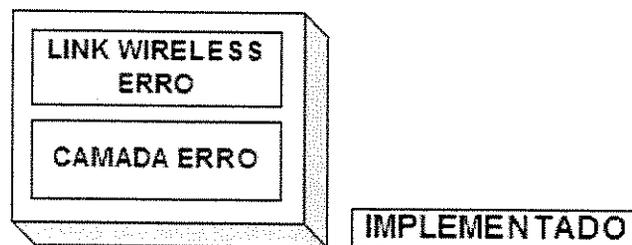


Figura 6.11. Estrutura em camadas do Bloco Link Wireless.

✓ **Camada Link Wireless Erro**

Esta camada é responsável por introduzir erro no quadro recebido conforme uma distribuição aleatória.

São formados vetores de erros e tempo que são aplicados quando solicitados, ao quadro que está sendo recebido pela camada erro.

✓ **Camada ERRO**

Esta camada repassa o quadro recebido para a camada link wireless erro, que irá fazer uma análise dos vetores gerados e verificar se no instante que este quadro está sendo transmitido tem-se a presença de erros ou não.

6.3.5. Bloco Mobile Station

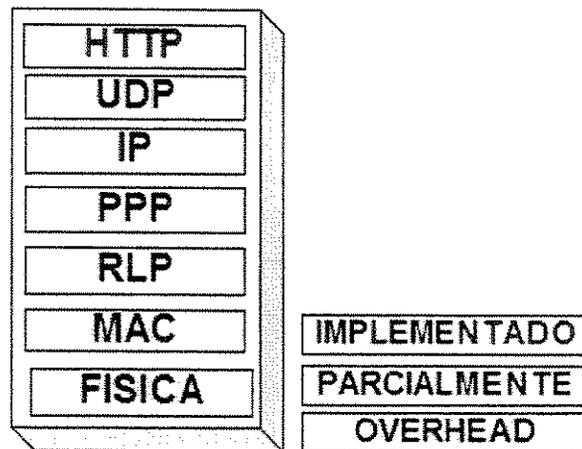


Figura 6.12. Estrutura em camadas do Bloco Mobile Station.

✓ **Camada HTTP**

No Bloco *Mobile Station* esta camada tem por função gerar requisições HTTP o Bloco *Base Station* e, ao receber a solicitação realizada, gravar os dados necessários para que as estatísticas sejam coletadas.

✓ **Camada UDP**

Responsável por receber os datagramas UDP oriundos do modelo *Server* e encaminhar para a camada de aplicação HTTP.

✓ **Camada IP**

A camada IP tem por função receber o quadro PPP oriundo da camada PPP, desencapsular o datagrama IP recebido e encaminhar o pacote TCP.

✓ **Camada PPP**

Da mesma forma das camadas superiores, sua função neste bloco é apenas desencapsular o pacote PPP recebido e encaminhar o datagrama IP.

✓ **Camada RLP**

A camada RLP tem por função verificar a seqüência de pacotes recebidos. Caso algum tenha sido perdido, é de sua responsabilidade enviar um pacote de controle NAK para a camada RLP do Bloco Server, solicitando reenvio.

✓ **Camada MAC**

A camada MAC encaminha o *frame_rlp* recebido da camada física para a camada RLP.

✓ **Camada FISICA**

A camada física tem por função verificar se o pacote recebido apresenta erro ou não. Caso presente, o pacote é descartado e não é encaminhado para a camada superior.

A figura 6.13 mostra o modelo implementado com todas suas camadas.

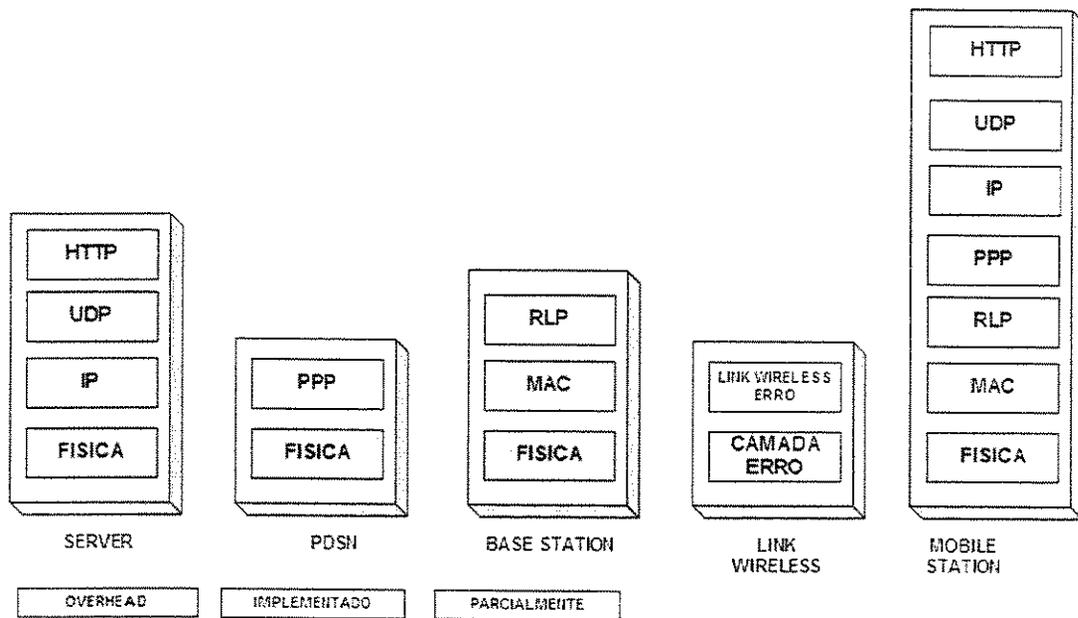


Figura 6.13. Modelo CDMA 2000 apresentado em forma de camadas e blocos.

6.4. Conclusão

Definir um modelo de simulação, como mencionado no capítulo 2, não é uma tarefa fácil, pois abstrair de um sistema real suas variáveis mais significativas e as funções realmente necessárias para se alcançar resultados satisfatórios nem sempre é uma atividade trivial.

Dificuldades foram encontradas durante o desenvolvimento deste modelo. E, como pôde ser observado no decorrer deste capítulo, alguns caminhos foram percorridos, e muitas vezes abandonados, pois os mesmos não levavam ao objetivo inicialmente proposto. Porém os estudos realizados poderão permitir, em trabalhos futuros, que

modelos mais precisos e detalhados sejam implementados, como comentamos no capítulo 8.

Para melhor compreender o modelo de simulação implementado e o seu comportamento, o capítulo 7 apresentará os resultados obtidos durante as simulações realizadas.

6.5. Referências Bibliográficas

- [1] MARTINS, J. Legatheaux. *Material de suporte às aulas de Redes de Computadores*. Cap. 2. 2002.
- [2] DATASET WorldCup98. 1998. Disponível em: < <http://ita.ee.lbl.gov/html/contrib/WorldCup.html>> Acesso em: 12 fev. 2003.
- [3] COMMER, Douglas E. *Interligação em Rede Com TCP/IP : Princípios, protocolos e arquitetura*. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1998.
- [4] GUIA DE MONTAGEM DE PONTOS DE ACESSO À INTERNET. Disponível em www.rnp.br/_arquivo/documentos/popbox41.pdf . Acesso em : 12 de fev. 2003.
- [5] RFC 1701. *Generic Routing Encapsulation (GRE)*. 1994.
- [6] ZBIGNIEW, Dziong et al. *Wireless Internet Access Using IS-2000 Third Generation System: A Performance and Capacity Study*. USA, 2002.
- [7] 3GPP2 C.S0004-A. *Signaling Link Access Control (LAC) specification for cdma2000 spread spectrum system, Release A*. Junho, 2002.
- [8] MAINAK, Chatterjee; SAJAL, K. Das. *Optimal MAC State Switching for cdma2000 Networks*. Texas: Texas Telecommunications Engineering Consortium and Nokia Research Center, 2002.
- [9] QUALCOMM. *1xEV: 1xEVolution IS-856 TIA/EIA Standard Airlink Overview*. 2001.

[10] QIANG, Wu; ESTEVES, Eduardo. *The cdma2000 High Rate Packet Data System*. San Diego: QUALCOMM Incorporated, 2002.

Capítulo 7

SIMULANDO UMA REDE CDMA 2000

7.1. Introdução

Este capítulo apresentará um exemplo de simulação demonstrando, desta forma, o funcionamento do modelo de rede CDMA 2000 desenvolvido ao longo deste trabalho.

Três simulações foram realizadas: a primeira apresenta uma estação móvel como cliente; a segunda possui duas estações móveis; a terceira quatro. A configuração do modelo de simulação e os resultados obtidos são apresentados nas próximas sessões.

7.2. Descrição do Ambiente do Cenário de Simulação

O cenário de simulação utilizado pode ser observado na figura 7.1.

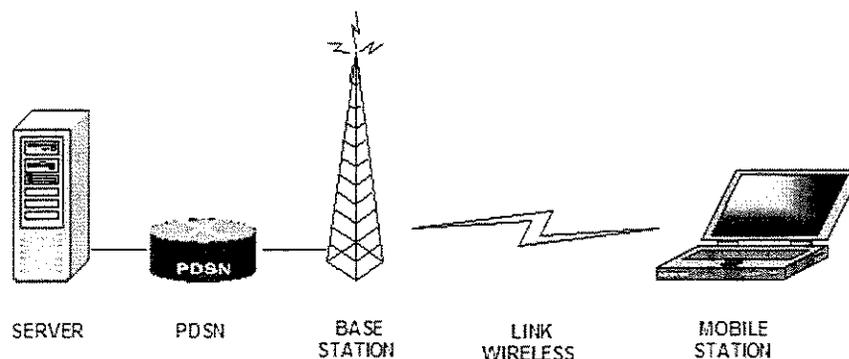


Figura 7.1. Cenário de simulação.

Os blocos apresentados na figura 7.1 foram definidos no capítulo 6, sendo assim, serão ressaltadas apenas as funções principais de cada um:

- **Server:** Fonte de tráfego do modelo;
- **PDSN:** Estabelece o *link* ponto-a-ponto entre a estação rádio base e o servidor;
- **Base Station:** Aloca os serviços solicitados pelo cliente;
- **Link Wireless:** Emula uma interface aérea;
- **Mobile Station:** Representa o cliente da simulação.

O cenário escolhido tem por objetivo final uma simulação simples, que servirá como base para futuras implementações mencionadas no capítulo 8 desta dissertação. Tomando este objetivo, algumas restrições foram feitas:

- Utilização de apenas uma célula, assim não é permitido *hand-off*;
- As estações móveis comunicam-se apenas com o servidor, solicitando objetos HTTP;
- Foram consideradas apenas as características do *Forward Link*, quando uma estação móvel realiza uma solicitação, tem-se apenas a passagem de uma mensagem direta da estação móvel ao servidor não sendo analisado o *Reverse Link* e suas características. A implementação deste tipo de solicitação visa trabalhos futuros onde poderemos ter a adição de novas estações móveis de forma dinâmica;
- São aceitas, no máximo, dezesseis estações móveis.

7.3. Configuração das Simulações

No projeto inicial, foram propostos quatro cenários de simulação, porém ao longo dos testes percebeu-se que apesar do comportamento do modelo ser satisfatório o tempo de simulação tornava-se consideravelmente maior conforme se aumentava o número de clientes, devido, principalmente, a grande quantidade de sinalização exigida pelas normas. Assim decidiu-se pela realização de apenas três simulações. Os cenários simulados foram:

- **Primeiro Cenário de Simulação:** tem-se apenas uma estação móvel;
- **Segundo Cenário de Simulação:** o sistema apresenta dois clientes;
- **Terceiro Cenário de Simulação:** quatro clientes concorrem pelo uso do meio de transmissão.

É importante levar em consideração, que o arquivo fonte desta simulação foi dividido em arquivos menores que representam o servidor, ao qual os objetos pertencem. Foram criados, para os cenários propostos, quatro arquivos: Fonte 1, Fonte 2, Fonte 3 e Fonte 4, que representam respectivamente os servidores 1, 2, 3 e 4. Note que, no cenário proposto apresentado na figura 7.1, é inserido apenas um servidor, porém este pode representar vários servidores ao mesmo tempo. No modelo desenvolvido, esta quantidade é de, no máximo, 16 servidores. A seguir serão apresentados gráficos que mostram a quantidade de objetos de cada fonte conforme o tamanho destes.

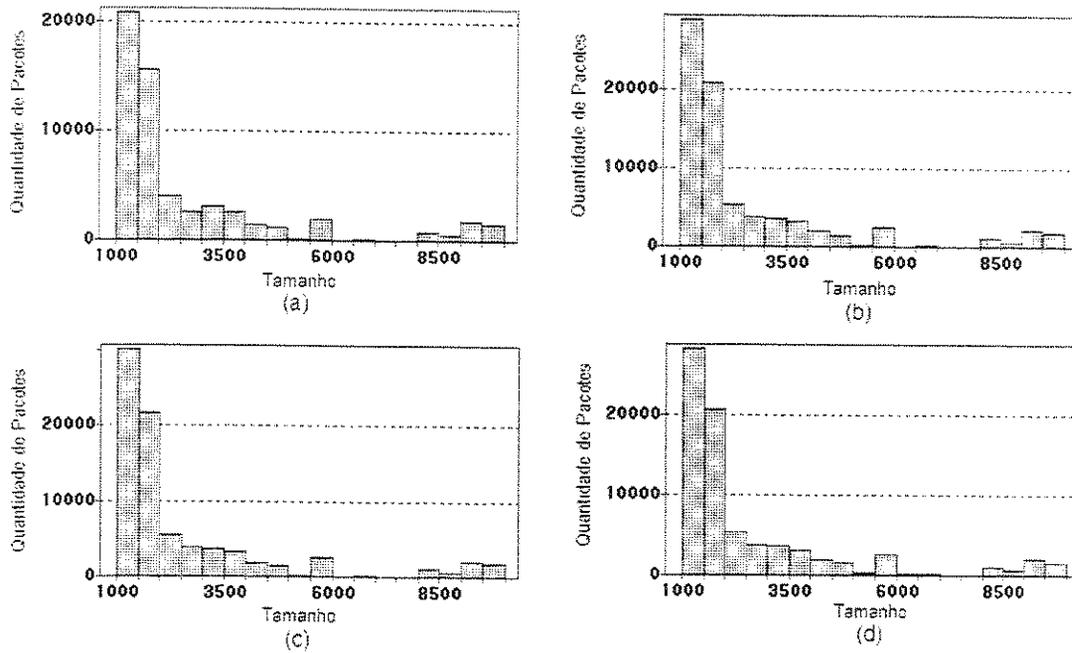


Figura 7.2. Arquivos fontes utilizados nos cenários de simulação:

- (a) Arquivo representando o servidor 1
- (b) Arquivo representando o servidor 2
- (c) Arquivo representando o servidor 3
- (d) Arquivo representando o servidor 4

7.4. Resultados

Os gráficos apresentados, nesta sessão, têm por objetivo mostrar como o modelo de simulação se comporta, sendo que alguns serão validados através de *papers* que fazem parte da bibliografia utilizada para a realização deste trabalho.

7.4.1. Análise de Perda de Objetos

No primeiro cenário de simulação, que apresenta apenas uma estação móvel, tem-se uma taxa de perda de objetos conforme mostra a figura 7.3.

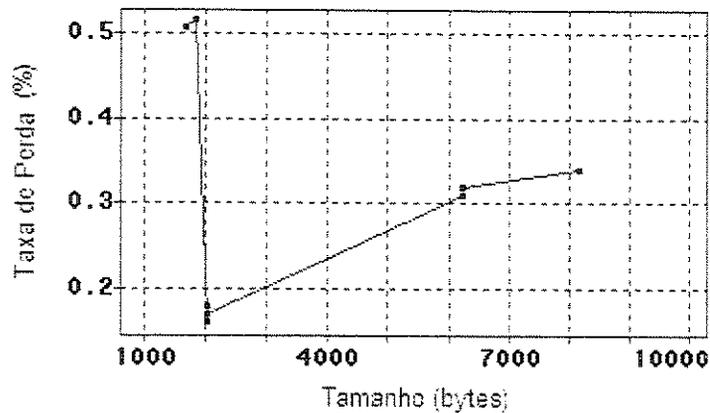


Figura 7.3. Taxa de perdas para a simulação com uma estação móvel.

A figura 7.4 apresenta a taxa de perdas quando a simulação possui duas estações móveis como clientes.

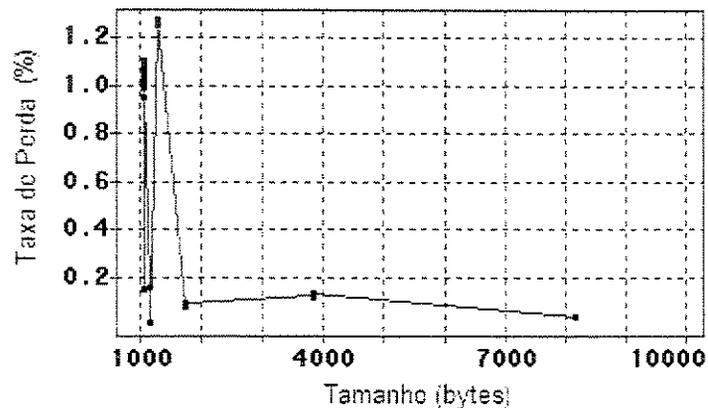


Figura 7.4. Taxa de perdas para a simulação com duas estações móveis.

A taxa de perdas apresentada na figura 7.5 foi coletada quando o cenário apresenta quatro estações móveis concorrendo pelo meio de transmissão.

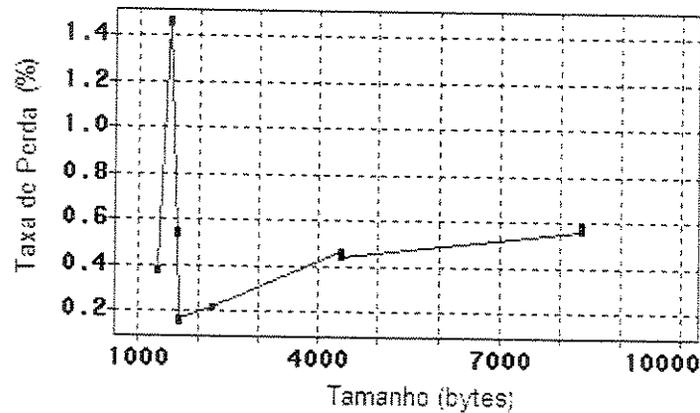
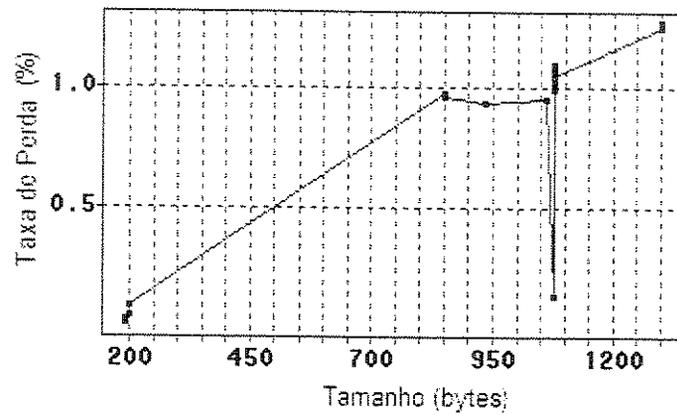


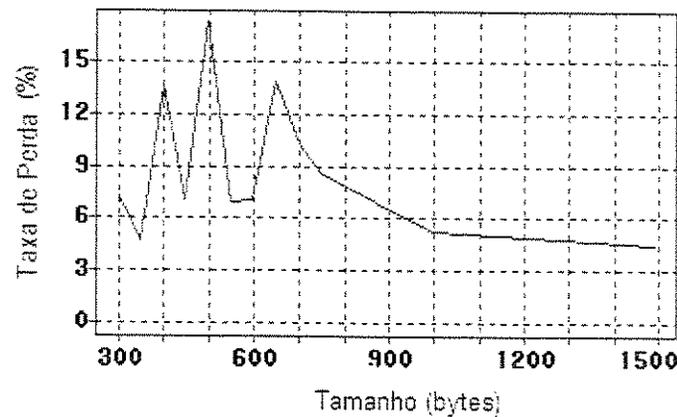
Figura 7.5. Taxa de Perdas para a simulação com quatro estações móveis.

Conforme os gráficos apresentados, pode-se perceber que uma maior taxa de perda ocorre quando o tamanho dos objetos é menor que 4000 bytes. Ao se fazer esta verificação e observar os arquivos fontes, percebe-se que a maior incidência de objetos tem seu tamanho entre 1000 e 4000 bytes, ocasionando uma maior probabilidade de erro nesta faixa.

Para justificar os gráficos apresentados, observe a figura 7.6. Esta faz uma comparação entre os resultados da simulação realizada no Hydragyrum e os resultados coletados em uma rede CDMA 2000 real apresentados pelo paper [1]. Através desta comparação pode-se verificar que a maior incidência de perda ocorre em objetos de tamanho menor que 1500 bytes.



Hydragyrum



Paper

Figura 7.6. Comparação de resultados das taxas de perdas.

Hydragyrum – apresenta resultados colhidos pelo modelo desenvolvido

Paper - apresenta resultados da tabela apresentada pela referência[1]

Ao observar a taxa de perda de cada gráfico, pode-se verificar que no ambiente real tem-se maior taxa do que no ambiente simulado. Isso se deve ao fato de que se trata de resultados reais, onde erros ocorrem de uma forma muito mais complexa do que no modelo desenvolvido, que utiliza a distribuição uniforme para simular o link aéreo. Outros modelos para a incidência de erro poderão levar a resultados simulados mais próximos dos valores reais observados.

7.4.2. Análise da Variação do Atraso

A variação do atraso será analisada conforme o tamanho dos objetos. Através da figura 7.7 poderá ser observada a variação do atraso, quando o tamanho dos objetos está entre 1000 e 1500 bytes.

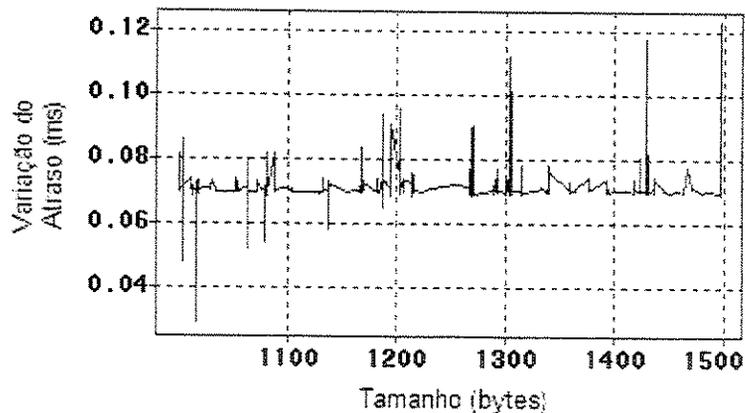


Figura 7.7. Variação do atraso para tamanhos de objeto entre 1000 e 1500 bytes.

A variação do atraso para objetos entre 2000 e 5000 bytes pode ser observada na figura 7.8.

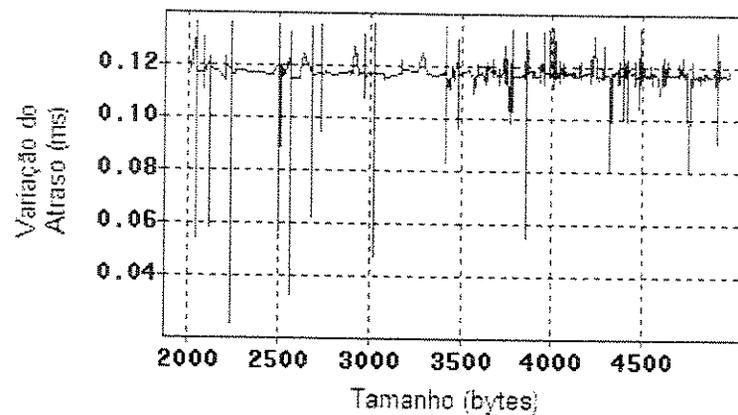


Figura 7.8. Variação do atraso para tamanhos de objeto entre 2000 e 5000 bytes. Para observar a variação do atraso para objetos que possuem o tamanho entre 5000 e 10000 se tem a figura 7.9.

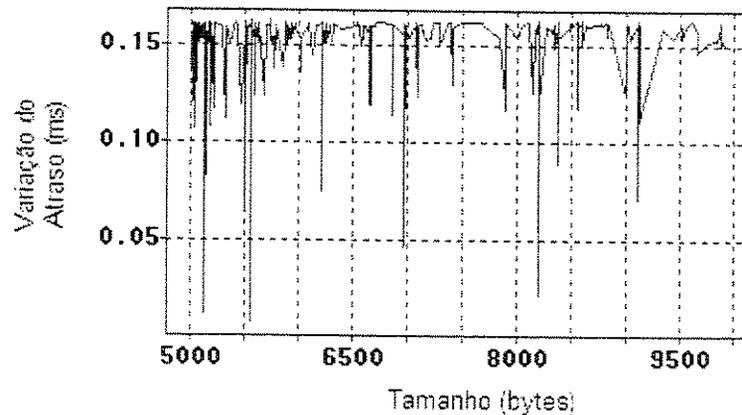


Figura 7.9. Variação do atraso para tamanhos de objeto entre 5000 e 10000 bytes.

Conforme pode ser observado nos gráficos apresentados nesta sessão, a variação do atraso está entre 0.10 ms e 0.12 ms, o que pode ser considerado razoável quando está se falando em serviços baseados em melhor esforço, como aplicações utilizando o protocolo RLP.

7.4.3. Análise de Throughput

A figura 7.10 mostra o *throughput* da simulação quando o tamanho dos objetos varia entre 100 e 1500 bytes.

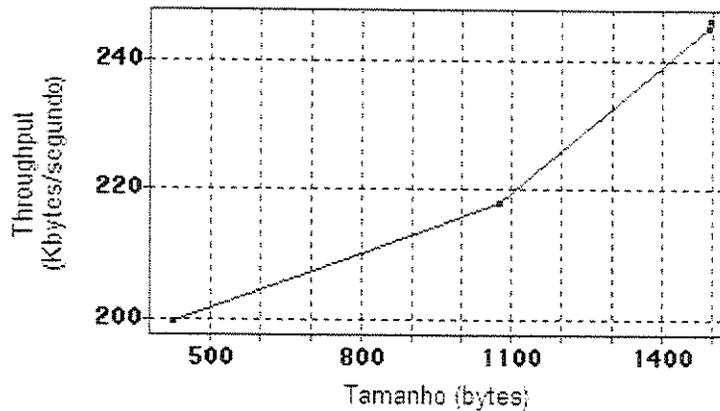


Figura 7.10. Throughput para tamanhos de objeto variando entre 100 e 1500 bytes.

A figura 7.11 tem por objetivo mostrar o *throughput* do modelo quando o tamanho dos objetos varia entre 1500 e 5000 bytes.

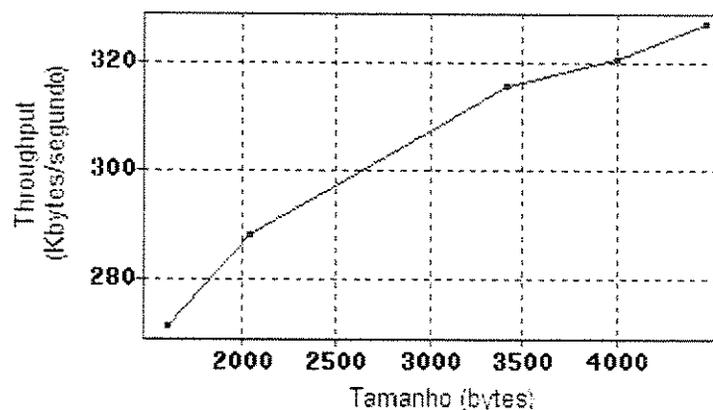


Figura 7.11. Throughput para tamanhos de objeto variando entre 1500 e 5000 bytes.

Através da figura 7.12 poderá ser observado o *throughput* quando a variação de tamanho dos objetos está entre 5000 e 10000.

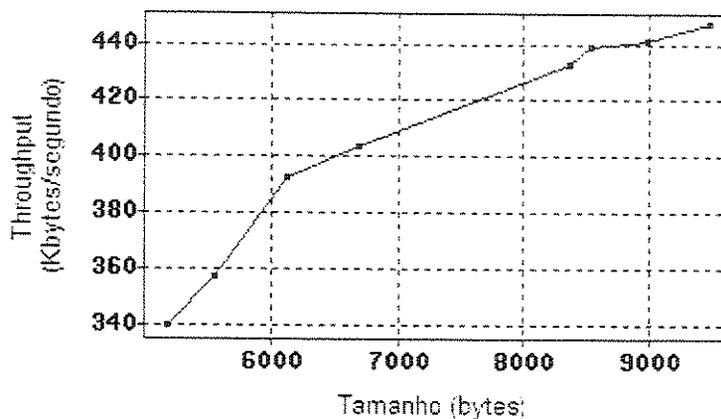


Figura 7.12. Throughput para tamanhos de objeto variando entre 5000 e 10000 bytes.

Conforme os gráficos mencionados, o *throughput* do modelo implementado permanece na faixa entre 300 e 400 Kbytes/segundo, dependendo do tamanho dos objetos solicitados. De acordo com a referência [2], estes resultados podem ser considerados condizentes com um ambiente real.

7.4.4. Análise do Atraso

A análise do atraso do modelo implementado será feita conforme a variação do tamanho dos objetos, assim como foi realizado com o *throughput* e a variação do atraso.

A figura 7.13 apresenta o atraso do modelo quando o tamanho dos objetos varia entre 100 e 1500 bytes.

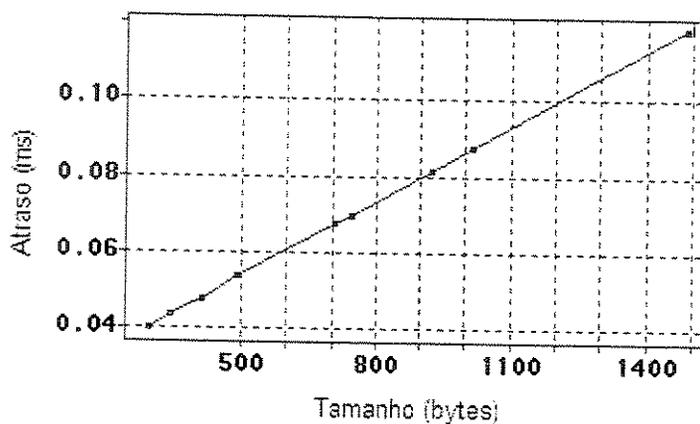


Figura 7.13. Atraso para tamanhos de objeto variando entre 100 e 1500 bytes.

A figura 7.14 apresenta o atraso do modelo quando o tamanho dos objetos varia entre 1000 e 1500 bytes.

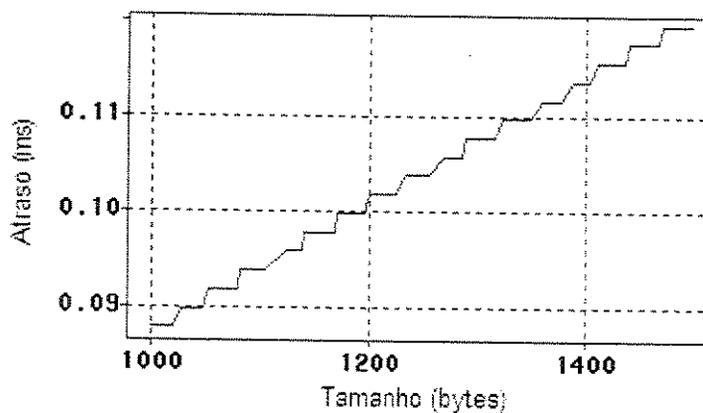


Figura 7.14. Atraso para tamanhos de objeto variando entre 1000 e 1500 bytes.

A partir da figura 7.15, pode-se observar o atraso do sistema quando o tamanho dos objetos varia entre 2000 a 5000 bytes.

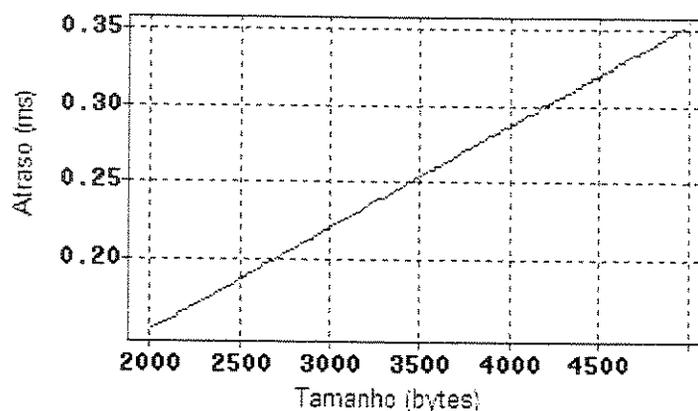


Figura 7.15. Atraso para tamanhos de objeto variando entre 2000 e 5000 bytes.

A partir da figura 7.16, pode-se observar o atraso do sistema quando o tamanho dos objetos variar entre 5000 a 10000 bytes.

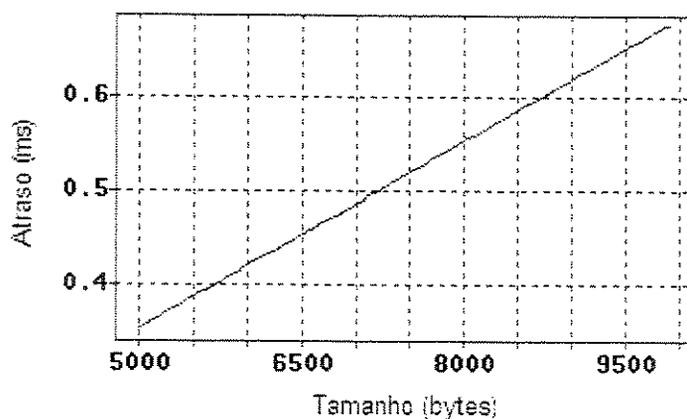


Figura 7.16. Atraso para tamanhos de objeto variando entre 5000 e 10000 bytes.

Através da referência [1], já citada na sessão 7.4.1, foi possível coletar os atrasos dos objetos com relação ao tamanho, da mesma maneira já utilizada anteriormente. Observando a figura 7.17, apresentada a seguir, será possível comparar os gráficos

obtidos pela simulação e pelo *paper* [1]. A comparação é feita tomando a figura 7.13 já apresentada nesta sessão.

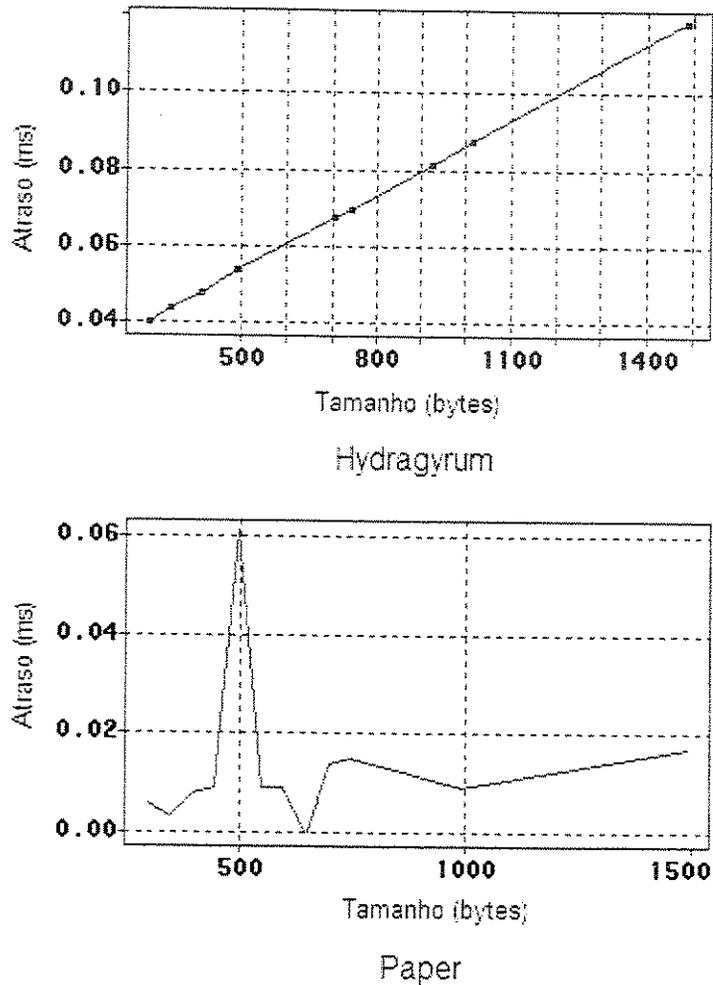


Figura 7.17. Comparação dos atrasos

Hydragyrum – apresenta resultados colhidos pelo modelo desenvolvido

Paper - apresenta resultados da tabela apresentada pela referência[1].

A figura 7.17 mostra uma diferença considerável entre os atrasos obtidos pela simulação e os coletados pelo *paper*. Esta diferença se deve ao fato de que a tabela

apresentada pelo *paper* representa uma ambiente onde se tem tráfego de voz. Este tipo de tráfego exige uma qualidade superior, assim com menos atraso. Já o modelo simulado trabalha com tráfego de aplicações HTTP e o serviço utilizado é o de “melhor-esforço” realizado pelo protocolo RLP, o que leva a um atraso maior conforme o tamanho dos objetos.

7.5. Conclusão

O modelo resultante deste trabalho pode ser considerado satisfatório, conforme observação dos gráficos apresentados, e considerando as restrições discutidas.

Conclui-se que o objetivo inicialmente proposto foi alcançado, e o modelo desenvolvido serve como base para futuras implementações que fazem uso de um ambiente móvel para tráfego de dados. Estas implementações, que podem ser consideradas como trabalhos futuros, e as conclusões finais são apresentadas no próximo capítulo da dissertação.

7.6. Referências Bibliográficas

- [1] EUN-SEOK, Ryu; CHUCK Yoo. *Audio Transmitting on Mobile Phone by Using UDP-Lite Protocol*.
- [2] GEORGE Xylomenos; GEORGE C. Polyzos. *TCP and UDP Performance over a Wireless LAN*. IEEE, 1999.

Capítulo 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1. Conclusões

Neste trabalho foi desenvolvido um conjunto de modelos para a simulação de um sistema de troca de mensagens HTTP sobre um sistema de telefonia celular CDMA 2000. O objetivo principal foi o desenvolvimento de modelos para a implementação simplificada do CDMA 2000. Os modelos foram submetidos a testes simples de geração de resultados que sugerem que o sistema implementado é adequado para a simulação de sistemas reais. Em trabalhos futuros pretende-se aperfeiçoar a presente implementação visando atender demandas por resultados mais expressivos.

Ao se utilizar simulação para o desenvolvimento deste trabalho foi possível entender o quão difícil é definir um modelo. Com o estudo de sistemas reais passamos a ter uma visão muito mais ampla e a idéia de se implementar o sistema sem deixar de fora nenhuma variável foi descartada. Porém, conforme o estudo de simulação foi se aprofundando, o modelo desejado, foi tomando forma e tornou-se um ambiente onde não só a tecnologia CDMA 2000 poderá ser analisada como também propostas de outras tecnologias sem fio poderão ser implementadas e analisadas, tomando como base o modelo inicial.

Ao fim deste projeto, pode-se dizer que o objetivo, inicialmente proposto, foi alcançado, e que o ambiente resultante irá auxiliar na análise da tecnologia CDMA 2000 e servirá como base para trabalhos futuros.

8.2. Trabalhos Futuros

O modelo de simulação resultante deste trabalho de pesquisa torna possível o desenvolvimento de projetos que possam tomá-lo como base. A seguir serão demonstrados alguns destes trabalhos e as mudanças que deveriam ser realizadas no modelo original.

8.2.1. Implementar o Ambiente GSM

Conforme a descrição feita, neste trabalho, o modelo de simulação obtido não serve apenas para simular a tecnologia CDMA 2000. Ao realizar algumas mudanças pode-se obter um modelo de simulação para tecnologias de transmissão que utilizem a interface aérea para transportar dados ou voz. Neste item será tomado como exemplo a tecnologia GSM, para descrever as mudanças que devem ser realizadas.

Uma das primeiras mudanças a ser considerada é a forma como as informações estão sendo enviadas pelo *link* aéreo, pois ao se utilizar a tecnologia CDMA tem-se a transmissão baseada em códigos, ou seja, os usuários compartilham a mesma frequência, porém os dados estão codificados, sendo possível identificar, de forma única, cada cliente do sistema. Desta forma, uma das tecnologias de acesso múltiplo TDMA ou FDMA, já explicadas por este trabalho, deverá ser implementada.

Outra modificação seria a forma de identificação do usuário. A tecnologia CDMA é baseada em códigos, já em GSM a cada assinante do sistema é atribuída uma identificação internacional única. No caso do simulador, poderá ser empregada uma função que atribua identificadores únicos para cada estação móvel do sistema.

Neste novo modelo a camada MAC também sofrerá modificações, pois ao se trabalhar com GSM esta passará a ter três componentes [1]: CM (*Connection Management*), MM (*Mobility Management*), RR (*Radio Resource Management*). No CDMA 2000 a camada MAC utiliza o protocolo RLP, já definido anteriormente, para prover serviço melhor esforço, além de implementar qualidade de serviço e uma máquina de estados que tem por função gerenciar os recursos da rede. A tecnologia GSM não utiliza o protocolo RLP.

Desta forma, podemos perceber que o modelo original deverá apresentar mudanças nos blocos *Base Station* e *Mobile Station*, não sendo necessário modificar os outros blocos que são comuns as duas tecnologias aqui mencionadas.

8.2.2. Implementar os Estados da Camada MAC

A camada MAC da tecnologia CDMA 2000, como já mencionado, possui a implementação de novos estados para melhor gerenciar os recursos disponíveis no sistema. Estes estados não foram implementados no decorrer deste projeto devido ao fato de não influenciarem nos resultados, pois não há alocação dinâmica de estações móveis e estas não se tornam ociosas ao longo da simulação, assim estes estados nunca seriam utilizados, a não ser o ativo. Para implementar a camada MAC uma das referências a ser utilizada seria [2], que define as funções desta.

É importante ressaltar que estes estados farão diferença apenas se tivermos outro tipo de fonte de dados e as estações móveis passarem a ser alocadas de forma dinâmica. Quando se menciona outro tipo de fonte de dados é porque, no modelo implementado, temos uma fonte real, porém contínua, e para verificar a influência dos estados MAC, o sistema deve implementar tempos de silêncio, ou seja, ociosidade, desta forma a proposta seria transformar a fonte de dados em uma

fonte aleatória que tivesse tempos de silêncio intercalados com tempos de transferência de informação.

8.2.3. Alocação Dinâmica de Estações Móveis

A alocação dinâmica de estações móveis permitirá medir o desempenho do sistema em um ambiente onde os usuários requisitam acessos no decorrer da simulação. Com esta implementação será possível verificar a quantidade de bloqueios que podem ocorrer e como se dá o gerenciamento de recursos no modelo em questão.

Para se desenvolver uma alocação dinâmica de estações móveis, a proposta seria criar um novo bloco que alocasse de forma aleatória as estações móveis.

8.2.4. Comunicação entre Estações Móveis

Ao implementar a comunicação entre as estações móveis, os blocos que constituem o modelo de simulação não sofrerão muitas mudanças, a não ser na camada física, pois agora ao invés de termos um modelo que analisa o canal de comunicação entre a estação base e a estação móvel, o *Forward Link*, o modelo deverá conter o *link* reverso, o qual também deverá ser implementado.

8.2.5. Desenvolvimento de um Link Aéreo Conforme as Distribuições Exponenciais e Poisson

Neste caso o único bloco que sofrerá mudanças será o bloco *link wireless*, pois atualmente implementa a função uniforme, opção esta, escolhida devido às dificuldades encontradas para implementar a interface aérea conforme suas

características reais. Uma proposta de implementação do *link* aéreo é encontrada em [3], onde se tem a implementação do algoritmo MTA (*Markov based Trace Analysis*), que, como pode ser verificado, consegue emular o comportamento de um *link* sem fio com uma diferença mínima.

8.2.6. Permitir *hand-off*

No seu estado atual, o modelo possibilita a definição de apenas uma célula, não permitindo assim a análise de *hand-off*. Para se definir mais de uma célula é necessário definir um bloco que controle a distância em que as estações móveis se encontram das estações base, podendo esta mudar durante o período de simulação. Através deste parâmetro é possível determinar qual a melhor célula para atender o usuário em questão, e a partir deste momento efetuar o *hand-off*. Deverá ser levado em consideração que a tecnologia CDMA 2000 implementa *soft-handoff*, ou seja, um usuário é monitorado, ao mesmo tempo, por mais de uma célula, o que melhora a comunicação evitando cortes.

8.3. Referências Bibliográficas

[1] GSM Global System for Mobile Communications: A Norma – Descrição da Tecnologia. DEEC/ISEL, 2002.

[2] STEVE, Dennett. *The cdma2000 ITU-R RTT Candidate Submission (0.18)*. Telecommunications Industry Association (TIA), 1998.

[3] KONRAD, Almudena et. al. A Markov-based Channel Model Algorithm for Wireless Networks. Disponível em: <<http://www.cs.berkeley.edu/~adj/publications/paper-files/winet01.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2004.

Apêndice A MIGRAÇÕES

A migração para as tecnologias de terceira geração deixou de ser uma questão a ser estudada, para ser uma necessidade. Os custos e as dificuldades são inerentes a este caminho que deverá ser traçado pelas operadoras, porém as que não o fizerem tenderão a desaparecer em um futuro não muito distante.

A.1. Caminhos de Migração

Os caminhos de migração, possíveis, para as tecnologias de terceira geração são apresentados na figura A.1 [1].

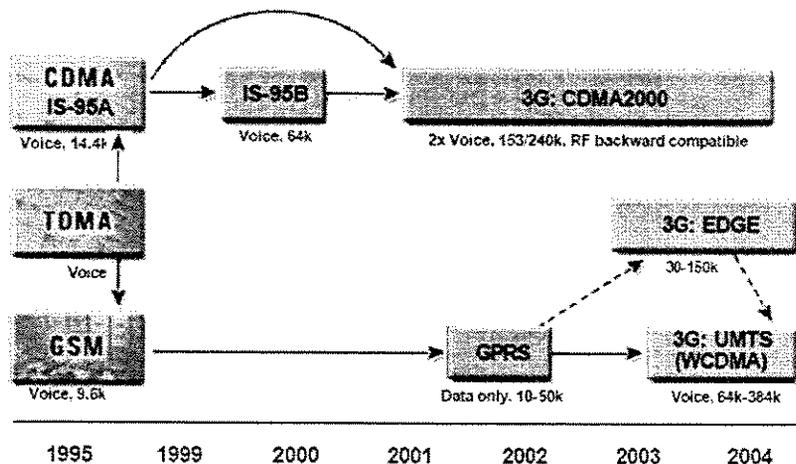


Figura A.1. Caminhos de migração.

Algumas questões comerciais devem ser levadas em consideração antes de escolher uma alternativa de terceira geração. Neste procedimento, cinco séries de questões se destacam [2]:

- Elevar a receita média por usuário;
- Minimizar os custos de implementação da tecnologia;
- Adotar um processo de implementação simples, que não traga complicações;
- Implementar serviços comerciais viáveis em tempo hábil;
- Manter um serviço satisfatório para o usuário final durante esse processo.

Ao partir para a análise de qual tecnologia de terceira geração adotar, surgem dois casos [2]: as operadoras que implementam as tecnologias GSM, cdmaOne ou PDC (*Packet Data Cellular*), já possuem um caminho certo, porém o mesmo não pode ser dito das que implementam TDMA.

Operadoras de GSM irão evoluir antes para GSM-GPRS e em última análise para UMTS, podendo implementar ou não o GSM-GPRS-EDGE como passo intermediário. A implementação do UMTS destas operadoras a utilização de uma parte do espectro 3G (UMTS) recém-alocada e recém-atribuída em 1900 MHz (enlace ascendente) e 2100 MHz (enlace descendente), juntamente com o espectro GSM atualmente atribuído de 900 e/ou 1800 MHz. Ela irá requerer também aparelhos telefônicos multimodo/multibanda para GSM-GPRS-UMTS (ou GSM-GPRS-EDGE-UMTS). Tais aparelhos multimodo irão permitir *hand-offs* de uma rede a outra, o que irá viabilizar um fornecimento perfeitamente consistente de serviços GSM básicos (voz e mensagens) ao longo de toda a rede, além do oferecimento de UMTS nas partes de tráfego mais intenso. Isto irá possibilitar ainda que as operadoras implementem a infra-estrutura 3G apenas de acordo com a demanda, minimizando assim o ônus de seus investimentos.

As operadoras da cdmaOne, não importando em qual frequência atuem, poderão evoluir para a CDMA 2000 1X utilizando seu espectro atual, o que elimina o desafio de encontrar um novo espectro.

No Japão, as operadoras de PDC irão construir redes UMTS totalmente separadas para os espectros recém-atribuídos de 1900 e 2100 MHz. Os assinantes terão acesso a essas redes por meio de aparelhos UMTS de um só modo e uma só banda.

Este caminho da migração será difícil para todas as operadoras, porém as que passarão pelos piores obstáculos serão as que adotam a tecnologia TDMA, por estar se tornando uma "tecnologia órfã" que possui duas limitações: satisfaz apenas necessidades de curto prazo, não oferece uma base para evolução futura.

Atualmente as operadoras de TDMA irão antes implementar uma rede GSM, com isso terão uma estrutura sobreposta ou em paralelo à sua rede TDMA estabelecida. A seguir, irão seguir a via das operadoras de GSM. Porém esta transição possui quatro obstáculos:

- Não há infra-estrutura nem terminais GSM disponíveis para as frequências 800 MHz, nas quais houve implementação das principais operadoras de TDMA;
- Devido ao custo e complexidade, dificilmente os fabricantes irão produzir terminais AMPS-TDMA-GSM;
- Ainda não há uma forma de transferir o variado portfólio de aplicações e serviços GSM para uma rede TDMA;
- Em países da América do Norte e Sul, a parte inferior do espectro de 1900 MHz está sendo usada pelos PCSs. Isto significa que não há um espectro disponível para as operadoras de TDMA, que estejam utilizando as

freqüências de 800 ou 1900 MHz, que lhes permita migrar de GSM-GPRS-EDGE para UMTS.

Levando em consideração as limitações citadas anteriormente, a tecnologia CDMA 2000 1x elimina algumas delas. A infra-estrutura e os terminais para CDMA 2000 1x estão disponíveis para as freqüências dos espectros 800 e 1900 MHz. Além disso, todos os terminais de CDMA 2000 1x para 800 MHz possuem um modo analógico, garantindo assim a cobertura de buracos não digitais da rede. As operadoras já possuem o espectro para atuar. Por fim, a eficiência 50 % maior de CDMA 2000 1x e suas derivações oferecem capacidade para aplicações com maior largura de banda e também maior volume de sinais de voz.

O padrão CDMA 2000 oferece as operadoras de TDMA uma migração direta (um passo) para os serviços denominados 3G. Oferecendo serviços de voz com capacidade superior e um *throughput* mais alto para dados e serviços WAP (*Wireless Application Protocol*).

A maior capacidade oferecida pelo padrão CDMA 2000 minimiza a freqüência necessária para migrar de TDMA para CDMA 2000, simplificando e reduzindo o custo de migração enquanto permite ao operador maximizar o investimento em TDMA.

A.2. Referências Bibliográficas

[1] RONI, Abiri. *Migration to Advantage: Planning & Optimizing to Maximize Network Efficiency & ROI*. 2002. Disponível em: <www.schema.com>. Acesso em: 03 nov. 2003.

[2] SHOSTECK group. *GSM ou CDMA: Os Desafios Comerciais e Tecnológicos para as Operadoras de TDMA*. CDMA Development Group. Junho, 2001.

